

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

PEDRO LUÍS JUNQUEIRA FIGUEIREDO

**ANÁLISE DE DEGRADAÇÃO E DURABILIDADE DA ARGILA PARA USO EM
TAIPA DE PILÃO**

São Carlos - SP

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

PEDRO LUÍS JUNQUEIRA FIGUEIREDO

ANÁLISE DE DEGRADAÇÃO E DURABILIDADE DA ARGILA PARA USO EM TAIPA
DE PILÃO

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de
Materiais da Universidade Federal de São Carlos, como
requisito parcial para conclusão do curso. Sob a orientação
do Professor Dr. Guilherme Yuuki Koga

São Carlos - SP

2021



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

NOME: Pedro Luis Junqueira Figueiredo

RA: 507890

TÍTULO: Análise de degradação e durabilidade da argila para uso em taipa de pilão

ORIENTADOR(A): Prof. Dr. Guilherme Yuuki Koga

CO-ORIENTADOR(A):

DATA/HORÁRIO: 15/10/2021, 09h

BANCA – NOTAS:

	Monografia	Defesa
Prof. Dr. Guilherme Yuuki Koga	9,5	9,5
Me. Thiago Alex Hemkemeier	9,5	9,5
Média	9,5	9,5

Certifico que a defesa de monografia de TCC realizou-se com a participação a distância dos membros Prof. Dr. Guilherme Yuuki Koga e Me. Thiago Alex Hemkemeier e depois das arguições e deliberações realizadas, os participantes à distância estão de acordo com as informações redigidas nesta ata de defesa.

Prof. Dr. Guilherme Yuuki Koga

*Dedico este trabalho aos
amigos e familiares, que muito
colaboraram para sua realização.*

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica atualizada sobre o emprego da técnica construtiva em Taipa de Pilão, alternativa àquelas técnicas popularizadas no Brasil, comumente embasadas nos usos de concreto, concreto armado e de forma incipiente moderada o aço. A escolha de materiais alternativos para a construção deve ser entendida pelos vieses históricos, sustentáveis e econômicos, todos estes relacionados ao comportamento mecânico e físicos do material empregado, sua resistência e durabilidade. Foi analisada a viabilidade da taipa de pilão como tecnologia construtiva alternativa. De forma complementar, será desenvolvido um modelo de construção unifamiliar em plataforma *BIM* (*Building Information Modelling*), de onde serão extraídos dados em relação à quantidade de materiais necessários para execução do empreendimento. Por meio de tabelas brasileiras de precificação (SINAPI, etc.) de custos diretos e indiretos na construção civil nacional, foi desenvolvida uma análise econômica que corroborou a escolha de um material frente ao outro.

Palavras-chave: Taipa de pilão, materiais alternativos, construção civil, engenharia de materiais

ABSTRACT

This work presents an updated bibliographic review on the use of alternative materials and construction techniques to those popularized in Brazil, commonly based on the uses of concrete, reinforced concrete and incipient-moderate steel. Important points needed to be raised in this work. The choice of alternative materials for construction must be understood from the historical, sustainable and economic standpoint, all related to the mechanical behavior of the material used, its resistance, and durability. The feasibility of mortar and pestle as an alternative construction technology will be analyzed. In a complementary manner, a single-family building model will be developed on a BIM (Building Information Modeling) platform, from which data related to the number of materials needed to carry out the project will be extracted. Through the Brazilian specification tables (SINAPI, etc.) of direct and indirect costs in national civil construction, an economic analysis will be carried out that corroborates the choice of one material compared to others.

Key-words: alternative materials, civil construction, materials engineering

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Construção em taipa de pilão na UFMS.....	11
Figura 2 - Construção em taipa de pilão finalizada na UFMS.....	11
Figura 3 - Fabricação da taipa.....	19
Figura 4 - Execução da taipa de pilão.....	19
Figura 5 - Evolução dos compactadores, de manuais à pneumáticos.....	21
Figura 6 - Parede 1 (a) e parede 2 (b), com diferentes métodos de homogeneização.....	21
Figura 7 - Exemplo de formas.....	22
Figura 8 - Chapas de alumínio modulares.....	23
Figura 9 - Taipa à mão ou pau a pique. Fonte: Lopes (2003).....	23
Figura 10 - Estrutura cristalina das argilas.....	25
Figura 11 - Triângulo textural, utilizado para a determinação das classes texturais do solo. Fonte: Adilson (2015)	26
Figura 12 - Curva granulométrica genérica.....	27
Figura 13 - Ensaio de termogravimetria do EVA.....	32
Figura 14 - Ensaio de viscosidade do CAP.....	33
Figura 15 - Estrutura química do PET.....	34
Figura 16 - Granulometria do PET de 13 mm utilizada por Tibúrcio (2018).....	35
Figura 17 - Seleção do tipo de estabilizante, em função do Índice de Plasticidade (IP) e da granulometria da terra.	38
Figura 18 - Mapa da fazenda Novo Horizonte.....	39
Figura 19 - Carta de solos Fazenda Novo Horizonte.....	41
Figura 20 - Curvas de resistência para misturas solo cimento. A (100% cimento, 0% CBC), B (90% cimento, 10% CBC) e C (80% cimento, 20% CBC).....	42
Figura 21 - Curva granulométrica de amostra de solo de formação Corumbataí.....	43
Figura 22 - Composição da amostra do solo.....	44
Figura 23 - Planta baixa do empreendimento com destaque do cálculo das áreas.....	47
Figura 24 - Croqui das vigas, vigas baldrames, pilares e sapatas.....	48
Figura 25 - Modelo tridimensional do quadro estrutural em concreto.....	48
Figura 26 - Modelo tridimensional do quadro estrutural de aço.....	49
Figura 27 - Detalhe da cobertura.....	50
Figura 28 - Detalhe da vigota treliçadas com preenchimento em bloco cerâmico.....	50
Figura 29 - Detalhe do pilar.....	51
Figura 30 - Detalhe da viga.....	51
Figura 31 - Detalhe das Estacas.....	51
Figura 32 - Materiais do pilar estrutural. Fonte: autor.....	52
Figura 33 - Materiais das paredes.....	53
Figura 34 - Materiais dos blocos de coroamento.....	53
Figura 35 - Quantidade de vergalhões.....	53
Figura 36 - Materiais das vigas estruturais.....	54

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Tipos de cimento e suas características</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 2 - Comparativo entre BRITALEVE® e outros agregados com a mesma finalidade.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 3 - Dados pluviométricos do local de estudo.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 4 - Aptidão das amostras de solo da formação Corumbataí para fabricação de liners</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 5 - Dados do solo de formação Corumbataí</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 6 - Espaços mínimos residenciais.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 7 - Custo dos serviços liminares.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 8 - Custo da Infra Estrutura.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 9 - Custo da Super Estrutura.....</i>	<i>55</i>

LISTA DE SIGLAS

BIM - *Building Information Modeling*

RCC – Resíduos da Construção Civil

PET – Polietileno Tereftalato

EVA - **Etileno** Acetato de Vinila

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	10
1.1.	JUSTIFICATIVA	12
2.	REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1.	EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE.....	12
2.1.1.	Pilares contemporâneos de sustentabilidade mundial.....	13
2.1.2.	A terra como material de construção	15
2.2.	TAIPA DE PILÃO: EVOLUÇÃO E TECNOLOGIA	18
2.2.1.	Processo padrão de fabricação	18
2.2.2.	Evolução da tecnologia construtiva	20
2.2.3.	Formas.....	22
2.3.	ARGILAS: DEFINIÇÃO E ANÁLISE	24
2.3.1.	Contribuição da argila na plasticidade do solo.....	24
2.4.1.	Distribuição granulométrica da argila.....	26
2.4.2.	Efeito da água nas argilas.....	27
3.	O SOLO-CIMENTO NA FABRICAÇÃO DA TAIPA	28
3.1.	ESCOLHA DO CIMENTO E CARACTERÍSTICAS POZOLÂNICAS	29
3.1.1.	Definição de Pozolana e materiais pozolânicos	29
3.1.2.	Cinza de casca de arroz como fonte de sílica.....	30
3.2.	RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO AGENTES SUSTENTÁVEIS	31
3.2.1.	Uso de espuma EVA em concreto de cimento Portland	31
3.2.2.	Propriedades térmicas do EVA	32
3.2.3.	Ensaio de viscosidade do agregado com EVA	33
3.2.4.	Definição do Polietileno Tereftalato (PET) e sua utilização em artefatos de concreto	34
4.	METODOLOGIA.....	39
4.1.	IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO E ESTUDO DE CASO.....	39
4.1.1.	Local de implantação	Erro! Indicador não definido.
4.1.2.	Análise da pluviometria do local de estudo	39
4.1.3.	Embasamento teórico do solo do local de estudo: Latossolo Vermelho Distrófico	

4.1.4. Análise da curva granulométrica e sua importância	43
4.2. COMPARAÇÃO DE CUSTO: ALVENARIA ESTRUTURAL E TAIPA DE PILÃO	
45	
4.2.1. Croqui do projeto	45
4.3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO EM ALVENARIA ESTRUTURAL	47
4.3.1. Armação da estrutura	49
4.3.2. Análise dos custos através da tabela SINAPI	54
4.3.3. Estimativa dos custos da taipa de pilão.....	55
5. CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

O assunto de “natureza vs homem” vem sendo discutido em textos mesopotâmicos desde 4700 A.C. , segundo Winess (2000). Apesar disto, o autor cita que apenas no primeiro quinto do século XXI a evolução da tecnologia no setor da construção civil tornou-se notável. A preocupação com o uso de recursos naturais tornou-se imprescindível, uma vez que a construção civil hoje é responsável por 40% do consumo de energia mundial, afirma Beltrame (2013).

Em escala europeia, Winess (2000) constata em sua obra *Green Architecture* que em relação ao uso de água, a construção civil e manutenção de prédios já existentes é de aproximadamente 50%.

Este projeto teve como objetivo o estudo de materiais alternativos para a construção de habitações, em especial ao uso da taipa de pilão. Além disto, fatores como degradação, solubilidade, resistência mecânica e durabilidade da argila foram avaliados frente ao seu emprego como estrutura portante. Como estudo complementar, algumas manifestações patológicas tais como trincas, fissuras e erosão ao longo da vida útil deste material foram estudadas.

Identificou-se o custo de ambas as tecnologias, tanto da taipa de pilão quanto da alvenaria estrutural para um mesmo padrão residencial. Como metodologia, foi elaborado um projeto em plataforma *BIM (Building Information Modeling)*, para extração dos quantitativos que auxiliaram no cálculo do custo da tecnologia em alvenaria estrutural.

Uma das propostas mais atuais existentes em edifícios em taipa de pilão foi desenvolvida por Veraldo (2015). A autora desenvolveu junto a Universidade Federal do Mato Grosso do Sul um projeto em taipa para habitação estudantil. O projeto da abordou aspectos tecnológicos, econômicos, bem como o estudo das proporções dos agregados e materiais no produto final de solo cimento. As figuras 1 e 2 apresentam a fase de execução e a obra finalizada da habitação em taipas, respectivamente.



Figura 1 - Construção em taipa de pilão na UFMS.
Fonte: UFMS (2014)



Figura 2 - Construção em taipa de pilão finalizada na UFMS.
Fonte: Alcides Neto (2016)

1.1. JUSTIFICATIVA

Colaço, em sua tese de doutorado (2008):

“Nas recentes décadas, o relacionamento entre a Humanidade e o ambiente desenvolveu-se fortemente, em especial com o aumento populacional em grande parte concentrado entorno das cidades e nas zonas costeiras. Seguramente, com o passar dos tempos, a preocupação e a participação dos cidadãos nas questões ecológicas e ambientais tornou-se mais frequente em todo o mundo e, recentemente a relação e ligação dessas questões com os aspectos sociais e econômicos tem conduzido à concepção e ao aparecimento de um novo paradigma denominado sustentabilidade”. (Colaço, 2008)

Com esta afirmação, nota-se que a importância da busca por meios alternativos de construção está relacionada ao aumento populacional e ao uso de recursos naturais. Sendo assim, o estudo da taipa de pilão torna-se coerente como alternativa de construção sustentável e beneficiadora do meio ambiente. O propósito deste trabalho é o de sintetizar informações acerca do uso da taipa, por meio de referências bibliográficas, elencando as propriedades físico-químicas da argila, que reforçam a segurança no emprego desta tecnologia.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE

Os primeiros edifícios de que tem-se registro arqueológico foram formados principalmente de lama e palha, afirma Ryank (2017). O autor cita que já percorreu-se um longo caminho desde então. Além disso, afirma que para a construção de uma residência unifamiliar em madeira, o número de árvores necessárias é o equivalente a um acre, aproximadamente 4047 m².

Egenti (2016) conclui que 50 por cento de todo o consumo de madeira nos Estados Unidos é inteiramente dedicado à construção. O autor ressalta que o conceito de

sustentabilidade se apoia em três pilares principais: a reutilização, a reciclagem e a redução de insumos e desperdícios. O Brasil se destaca como o 4º colocado no ranking mundial de países com maior número de edifícios sustentáveis, com 533 certificados LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) no ano de 2018 (ESTADÃO, 2020).

As medidas para redução de consumo em geral são implementadas de duas maneiras, segundo A primeira pelas construtoras e empreiteiras que concebem os projetos com alternativas pré-estabelecidas, e a segunda por meio de reformas e mudanças executadas pelos proprietários (Ryank, 2017).

O INMETRO, desde 1984, propôs um diálogo com a sociedade, sobre a questão de conservação de energia. Entre os pontos levantados, ressalta-se a informação aos consumidores sobre a eficiência energética de cada produto, desde geladeiras a aparelhos de condicionamento de ar, estimulando o consumo mais consciente.

A lei de eficiência energética nº 10.295 (17 de outubro de 2001) estabelece limites para os níveis de consumo máximo de energia e mínimos de eficiência energética, tornando os fabricantes e importadores responsáveis pela regularização dos produtos e sua retirada de circulação, caso não seja cumprida a lei.

Em âmbito internacional, de acordo com o “*Advancing sustainable materials management: Facts and figures 2015*” publicado pela Agência de Proteção Ambiental de Taiwan (EPA), os Estados Unidos queimaram mais de 33,57 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) em 2015, respondendo por 10,17% da geração total de RSU do mundo. Em 2017, havia 76 usinas de incineração de RSU no planeta. (ERC, 2018).

Egenti (2016) afirma que a maioria das instalações de incineração de resíduos do planeta está localizada em áreas desenvolvidas no nordeste dos Estados Unidos. Em 2017, cerca de 29 milhões de toneladas de RSU foram queimados com cerca de 13.867 kWh de eletricidade gerada. Porém, o número e a capacidade das usinas de incineração de RSU mostram uma tendência decrescente desde 2001.

2.1.1. Pilares contemporâneos de sustentabilidade mundial

Os termos reutilizar, reciclar e reduzir referidos no capítulo anterior são derivados da obra de Elkington (2012). O autor divide as ações ao longo da idade moderna em cinco fases. Na última fase é criado o termo “*triple bottom line*”, considerados os três “P’s” da sustentabilidade. Segundo Lima (2017), os termos e suas principais abordagens são:

Pilar 1: Planeta (*Planet*):

- Desenvolver e proteger habitats naturais;
- Preservar recursos naturais;
- Melhorar a qualidade do ar e água;
- Reduzir a produção de resíduos sólidos;
- Diminuir a emissão de gases poluentes.

Pilar 2: People (*Pessoas*):

- Melhorar as condições do ar, térmicas e acústicas dos ambientes;
- Elevar os níveis de salubridade e de conforto para os ocupantes;
- Contribuir com a saúde, vitalidade e estética para a comunidade local.

Pilar 3: Profit (*Lucro*):

- Reduzir custos de operação;
- Elevar o valor do ativo imobiliário e os lucros;
- Aumentar a produtividade e a satisfação dos empregados;
- Otimizar o desempenho econômico no ciclo de vida.

Bakker cita no artigo (Vision 2050, 2010 – WBCSD) :

“Agora sabemos que, desde a revolução industrial, e em velocidade crescente nas últimas décadas, a atividade humana prejudicou severamente o funcionamento dos sistemas da Terra.

Agora entramos em um período de crise de maior volatilidade: emergência climática, ecológica degradação e perda significativa de biodiversidade.

Diante dessas ameaças, as sociedades humanas devem construir capacidade suficiente para adequadamente responder a essas emergências planetárias.

Devemos trabalhar para mitigar a mudança de clima e a destruição e perda da natureza ao mesmo tempo que se aprende a adaptação a um planeta dinâmico e mais volátil”.

(Bakker, 2010)

A humanidade já aplicava materiais em camadas para a construção desde a civilização pré-histórica, devido à sua ampla distribuição e diversidade na natureza (Yasin, 2015).

As propriedades específicas destes materiais, como troca iônica e capacidade hidrofílica, resultavam na utilização dos mesmos em cerâmica e materiais de construção, indústrias de papel, perfuração de petróleo, moldes de fundição e produtos farmacêuticos.

A utilização de minerais pela humanidade data da época do *homo erectus* e *homo neanderthalensis*, que utilizavam ocre (designa qualquer um dos óxidos metálicos terrosos portadores de ferro) misturados com água e diferentes tipos de lama para curar feridas, para acalmar as irritações, como método de limpeza da pele, etc. Isso pode ser devido aos seus animais imitadores, muitos dos quais instintivamente usam minerais para tais fins (Bergaya 2006).

O autor ainda afirma que a primeira referência escrita conhecida sobre o uso de "pedras", e uma descrição de seus benefícios minerais, data de Roma, 60 a.C. Ao longo da história antiga, a argila tem sido usada tipicamente para acalmar a pele, bem como internamente para questões gastrointestinais. Aristóteles (384-322 a.C.) fez a primeira referência à alimentação deliberada de argila, terra ou solo por humanos (para fins terapêuticos e religiosos). Mais tarde, Marco Polo descreveu como em suas viagens viu peregrinos muçulmanos curarem febres ingerindo "terra rosa". Essa prática ainda é seguida em certos países e comunidades para fins terapêuticos, ou mesmo para aliviar a fome.

2.1.2. A terra como material de construção

Segundo Gaudo (2013), a terra quando usada como material de construção costuma receber nomes diferentes: argila é uma mistura de argila, silte, areia e as vezes agregados maiores, como cascalho ou pedras. A terra (barro) possui três principais desvantagens em comparação com outros materiais de construção industrializados.

A primeira desvantagem é de que a terra não é um material de construção padronizado, sendo composto assim por diferentes quantidades e tipos de argila, silte, areia e agregados. Suas características, segundo o autor, podem diferir de local para local, e a preparação da mistura correta para uma aplicação específica também pode ser diferente. Para julgar suas características e alterá-las, quando necessário, por meio da aplicação de aditivos, é preciso conhecer a composição específica da argila envolvida em cada processo.

A segunda desvantagem citada é de que as misturas de argila sofrem retração durante a secagem devido à evaporação da água usada para preparar a mistura (a umidade é necessária para alcançar a trabalhabilidade necessária), onde rachaduras ocorrem posteriormente. A taxa de encolhimento linear é geralmente de 3% a 12% com misturas úmidas (como as usadas para tijolos de argamassa e barro), e entre 0,4% e 2% com secador, para misturas usadas para taipa e blocos de solo compactado. O encolhimento pode ser minimizado reduzindo-se a quantidade de água, otimizando a distribuição do tamanho do grão e usando aditivos. (Gaudo 2013).

A terceira desvantagem do uso do solo é de que a argila não é resistente à água. A argila deve ser protegida contra chuva e geada, especialmente em locais úmidos, como nos climas tropicais brasileiros. O autor aponta que as construções em terra devem ser protegidas da chuva e da geada, principalmente quando ainda estiverem úmidas. Desta forma, é necessária a instalação de beirais nos telhados e aplicação de elementos impermeabilizantes em sua superfície.

Uma das definições mais aceitáveis de uma argila é de que a mesma é um material natural, de grão muito fino e essencialmente composto de minerais de silicato (Auckland, 1956). O autor afirma que esses minerais de silicato são os minerais de argila em sua maior parte, embora Grim (1955) exclua materiais como as bauxitas.

Segundo Branco (2008), a argila é constituída por partículas pequenas, de dimensão inferior a 4 micrômetros. O autor afirma que normalmente as argilas são formadas por mais de um material argiloso, com predominância de um deles, todos filossilicatos.

Segundo Pisani, (2004) apud Portella (2015, p.183), a terra como matéria-prima tem se destacado por reduzir a demanda do cimento, minimizar o transporte, possuir durabilidade satisfatória, baixa condutibilidade térmica, dentre outras peculiaridades deste material. O potencial da arquitetura de terra se destaca em suas vantagens significativas em relação aos métodos construtivos atuais, já que o processo é totalmente reciclável, regula a umidade ambiental, economiza energia e diminui a contaminação ambiental. Seu uso como material de construção, segundo Minke (2001), se deve a algumas características como:

- **Regulagem da umidade ambiente**

A capacidade que a argila tem de absorver a umidade de forma mais rápida, permite o equilíbrio da temperatura interior.

- **Armazenamento térmico**

A argila tem grande capacidade térmica, equilibrando a temperatura de forma semelhante à umidade, regulando assim o calor interno dos ambientes.

- **Diminuição da poluição ambiental**

A energia utilizada para sua preparação, utilização e transporte corresponde a 1% da energia do uso de concreto armado e tijolos cozidos.

- **Preservação de elementos de madeira**

A argila, por possuir uma capilaridade alta, mantém os elementos adjacentes secos, como a madeira e outros elementos orgânicos.

Por meio de uma análise geotécnica, Toll & Ong (2003) afirmam que as construções em terra podem ser consideradas como um solo compactado, construído em uma forma vertical, em forma de parede. O autor afirma que uma vez que o material é inicialmente compactado e depois seco, se tornará insaturado, onde as partículas do solo serão envoltas em partículas de oxigênio. Assim, conforme o solo seca, a sucção aumenta e, conseqüentemente, há um aumento na coesão aparente e, portanto, na resistência.

Entretanto, os autores mostram que a contribuição para a força de sucção (coesão) em uma argila arenosa reduz à medida que o grau de saturação diminui. Assim, embora a sucção aumente conforme o solo seca, a contribuição para a resistência atinge um pico e depois diminui. Concluindo, afirmam que a máxima coesão esperada é atingida entre dois limites de teor de água: zero e saturação. Deve-se, no entanto, observar que o teor de água zero corresponde a uma condição ideal. Sendo assim, é plausível que a construção feita em terra é viável, respeitando-se especificações e condições de projeto.

Em estudo publicado na área de construção de terra, Milani (2008) descreve a história brasileira com o uso desta tecnologia, trazida pelos primeiros colonizadores do país. Apesar disso, os estudos nas áreas datam a partir do fim do século XIX. A autora cita algumas técnicas de uso do solo compactado, como citado a seguir:

- Adobe: é desenvolvido com solo altamente plástico e úmido, compactado no

interior de um molde. Após secos, são usados na forma de blocos.

- Pau-a-pique ou taipa de mão: consiste em uma estrutura que se comporta como pórticos, feitos de fibras como bambu e madeira, preenchidos com argila úmida. É bastante semelhante à taipa japonesa.
- Parede monolítica, terra apiloada, taipa de pilão: o solo sofre processo de compactação na umidade ótima do mesmo, *in loco*, em várias camadas.
- Tijolos ou blocos prensados: o solo sofre um processo semelhante ao do bloco de alvenaria, entretanto sem passar por processo de secagem, São aplicadas pressões sobre o bloco por um dispositivo mecânico/manual.

A autora cita que a tecnologia do uso da terra como meio de construção vem sendo esquecida, ou assimilada como alternativa somente para as camadas mais pobres da sociedade.

Apesar disto, com a busca atual por alternativas de economizar recursos e suprir o déficit habitacional, o uso da terra vem sendo discutido de forma mais ampla. Estudos de Krüger e Santos (2003) apontam que para que se estabeleça uma política de habitação em países subdesenvolvidos são necessários três fatores:

- Utilização de tecnologias apropriadas de forma racionalizada;
- Iniciativas da população na construção da habitação;
- Estudo de viabilidade regional para cada método construtivo, como clima, disponibilidade dos materiais no entorno do local e aceitação da comunidade;

Tendo em vista que o solo é um material de grande disponibilidade, torna-se sensata a abordagem do seu uso para suprir estes déficits de acordo com os aspectos citados acima. Foi abordado o conceito da taipa de pilão como tecnologia principal de estudo deste trabalho, sua empregabilidade e análise do comportamento da argila.

2.2. TAIPA DE PILÃO: EVOLUÇÃO E TECNOLOGIA

2.2.1. Processo padrão de fabricação

A taipa consiste no levantamento das paredes de barro, no caso como alternativa à

alvenaria convencional, apoiadas sobre bases de concreto. As paredes são comprimidas por golpes de pilão entre placas de madeira. A utilização da taipa não torna utilização da fundação impermeabilizada uma opção, sendo necessário utilizar-se sapatas corridas, baldrames, etc.a.

Nas figuras 3 e 4 é possível analisar como funciona o processo de produção da taipa de pilão. Faz-se utilização de tábuas grossas e amarração de ferro sobre uma fundação de pedra, chamada de base, que também pode ser executada em concreto armado. Com o auxílio de torniquetes, faz-se a compressão das tábuas, e com o auxílio do pilão as caixarias são preenchidas e comprimidas com o material solo-cimento.

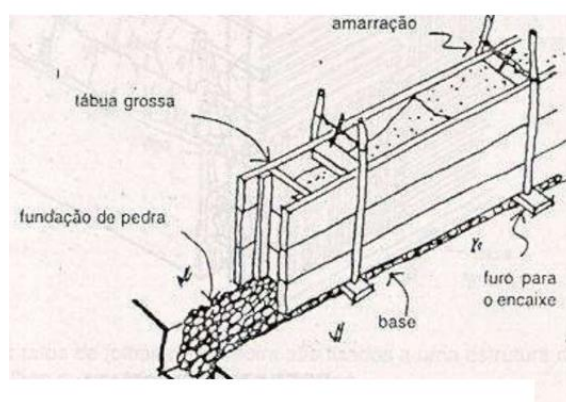


Figura 3 - Fabricação da taipa.
Fonte: Recriar Com Você (2017)

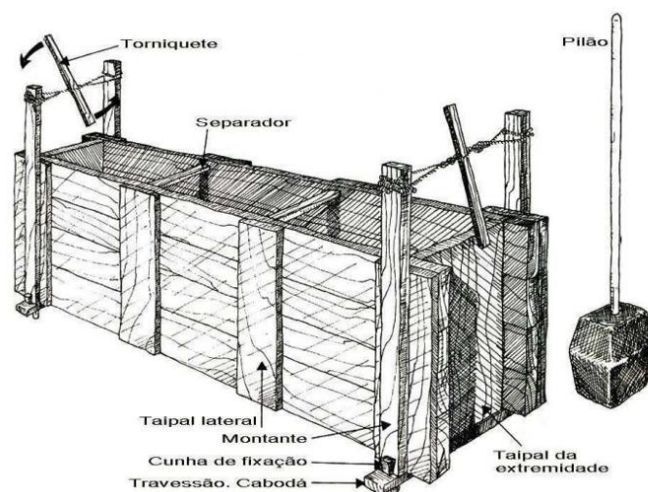


Figura 4 - Execução da taipa de pilão.
Fonte: Coisa Da Arquitetura (2010)

Uma descrição mais detalhada foi feita por D'avila (2008) que elenca os seguintes

passos para execução da taipa de pilão:

- Montar os taipais (fôrmas) cuidando para que os mesmos estejam bem fixos e estáveis.
- Preparar a massa com terra peneirada podendo a mesma ser estabilizada com cimento ou cal.
- Umedecer ligeiramente a massa até que se atinja um mínimo de coesão entre as partículas da terra, capaz de permanecerem unidas, segundo o autor. Uma boa mistura para cimento, cal e terra, é a proporção de 1:1:8. Costuma-se popularmente usar apenas barro misturado com grãos de areia e brita e para que o barro tenha maior consistência a melhor resistência à chuva, ele pode ser misturado com sangue de boi e óleo de peixe.
- Colocar a massa dentro dos taipais, em camadas de 10 a 15 cm. Apiloar até que a massa não se deforme mais com os golpes. Serão atingidas fiadas de 50 a 80 cm, dependendo do tamanho da fôrma.
- Ao final de cada fiada, desmontar a fôrma com cuidado para não danificar a parede, que segundo o autor é de cerca de 28 dias. Remontar os taipais logo acima para dar sequência à construção.

2.2.2. Evolução da tecnologia construtiva

A tecnologia de produção da taipa sofreu diversos aprimoramentos ao longo do tempo. Veraldo (2015) afirma que com o avanço das ferramentas, como o uso de compactadores pneumáticos ou elétricos e misturadores com pás rotativas trouxe um avanço na homogeneização da mistura solo-cimento e no adensamento do material, que possibilitou melhorias na resistência. Algumas melhorias da tecnologia dos compactadores se encontram na figura 5 a seguir:



Figura 5 - Evolução dos compactadores, de manuais à pneumáticos.
 Fonte: Veraldo (2015), adaptado de Minke (2001)

Na tese de Hoffmann *et al.* (2012), os autores concluíram que o processo de homogeneização mecanizado se mostrou mais eficiente em relação à produtividade homem hora por metro quadrado, sendo de 0,18 Hh/m² x 0,12 Hh/m²). Também em relação ao custo, a economia foi próxima de 60%. Além disso, o esforço físico demandado pelos trabalhadores é menor, gerando maior satisfação do trabalhador. A Figura 6 mostra as diferenças entre a parede mecanizada (esquerda) para não mecanizada (direita).



(a)

(b)

Figura 6 - Parede 1 (a) e parede 2 (b), com diferentes métodos de homogeneização.
 Fonte: Adaptado por Veraldo (2015) de Heise et al. (2012)

Alguns autores como Easton (1996) concluem que o transporte antes feito através de cestos, pode ser transportado por tratores compactos, ou por esteiras com correias. Além disto, a utilização de peneiras rotativas ou vibratórias também complementam a economia de tempo

para fabricação. De acordo com Boulter (2012), a energia necessária para a produção de paredes de taipa é 75% menor que a produção com estruturas convencionais, e relacionadas ao aço, de 35%.

2.2.3. Formas

Walker (2003) afirma que a metodologia de fabricação mais tradicional das formas para a produção dos blocos é composta por tábuas de madeira maciça, de 2 a 3 centímetros de espessura. Cody (1990) relatou que em relação à altura, algumas formas no Marrocos, China e Índia possuíam altura de até 1,75 metros de altura, necessitando de esforços externos para apoiar as formas. Na figura 7 são apresentados exemplos de formas.

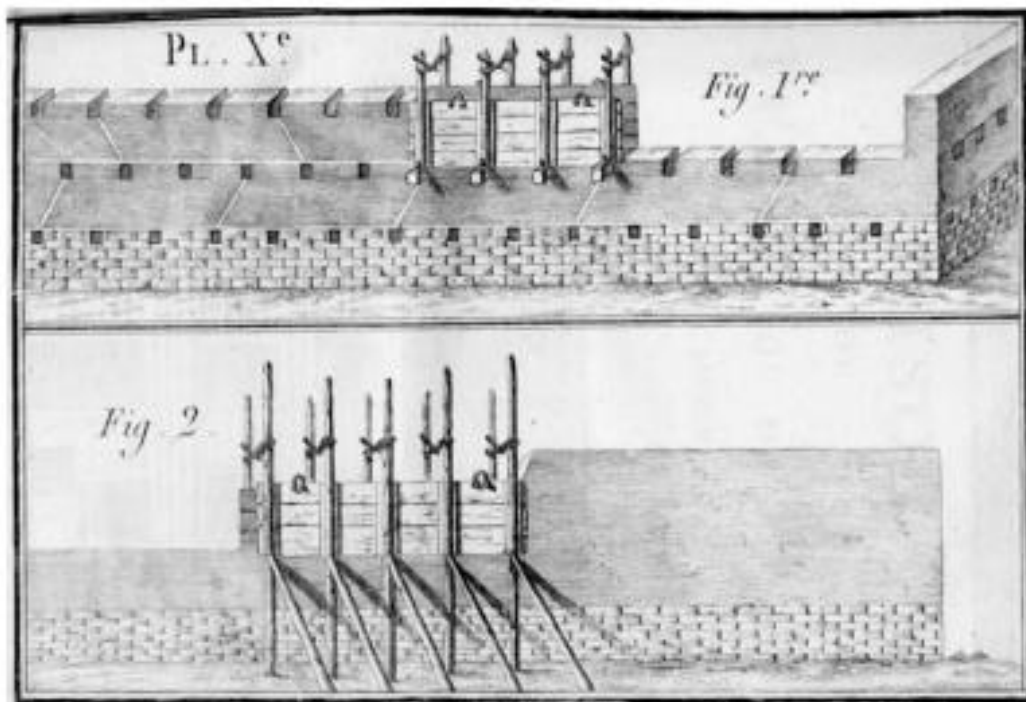


Figura 7 - Exemplo de formas.
Fonte: Veraldo (2015) adaptado de Bardou (1986).

Atualmente, em relação às formas encontram-se alguns avanços notáveis. Segundo a *Rammed Earth Australia* (2015), são produzidas formas de diversos tamanho, em L, U, e curvas. Além disso, são produzidas de chapas de alumínio modulares, que permitem o reaproveitamento em diversas obras, e a montagem de maneiras diferentes. Na Figura 8 são ilustrados painéis de alumínio modulares:



Figura 8 - Chapas de alumínio modulares.
Fonte: Rammed Earth Australia (2015)

Dentre as diferentes tecnologias e tipos de construções em terra podemos destacar as feitas em adobe, taipa de pilão e taipa à mão. É evidente que existem diferenças qualitativas entre os tipos de taipa, que resultam em desvantagens. Um exemplo é a taipa à mão, como mostra a Figura 9 a seguir.



Figura 9 - Taipa à mão ou pau a pique.
Fonte: Lopes (2003).

É observado que a construção à mão, quando feita de maneira incorreta, pode apresentar

degradação em pouco espaço de tempo. Além das paredes que sofrem infiltração. A má compressão das camadas torna o material frágil e quebradiço segundo Lopes (2003).

Fernandes (2019) entrevistou moradores do assentamento Sepé Tiajuru, na cidade de Serra Azul – SP, onde constatou que a arquitetura de terra não foi difundida entre os moradores pois havia receio da população a possíveis infestações de barbeiros e escorpiões, uma vez que não possuíam as ferramentas necessárias.

A autora conclui que para os assentados a alvenaria é símbolo de uma mudança de patamar social, enquanto as técnicas de construção em terra se apresentam “inferiores e primitivas”.

Lopes (2003) afirma que os princípios básicos para construção em terra, que concedam segurança aos moradores contra insetos e danos à estrutura escalam de acordo com a mecanização da tecnologia. Sendo assim, acredita-se que a taipa de pilão seja, dentre as construções em terra, a que agrega maior custo x benefício.

2.3. ARGILAS: DEFINIÇÃO E ANÁLISE

Apesar do solo ser a principal fonte de matéria-prima para a confecção da taipa, diversos aprimoramentos vem sendo feitos ao longo dos anos para confecção dos blocos e das paredes. Segundo Faria (2011), o elemento aglutinador principal utilizado era a argila. Atualmente são utilizadas misturas de solo-cimento, aditivos dos mais variados, fibras, etc, para aumento da resistência das paredes monolíticas ou dos blocos (Chen, 2009).

2.3.1. Contribuição da argila na plasticidade do solo

Cavacalti *et al.* (2010) concluem que a plasticidade que as argilas conferem às misturas se devem pela força de atração entre as partículas, uma vez que estas estão carregadas eletricamente. Esta interação é proporcionada pela estrutura cristalina das argilas, que proporcionam o surgimento de uma película sobre a superfície dos minerais que a compõe. Esta estrutura se encontra na Figura 10:

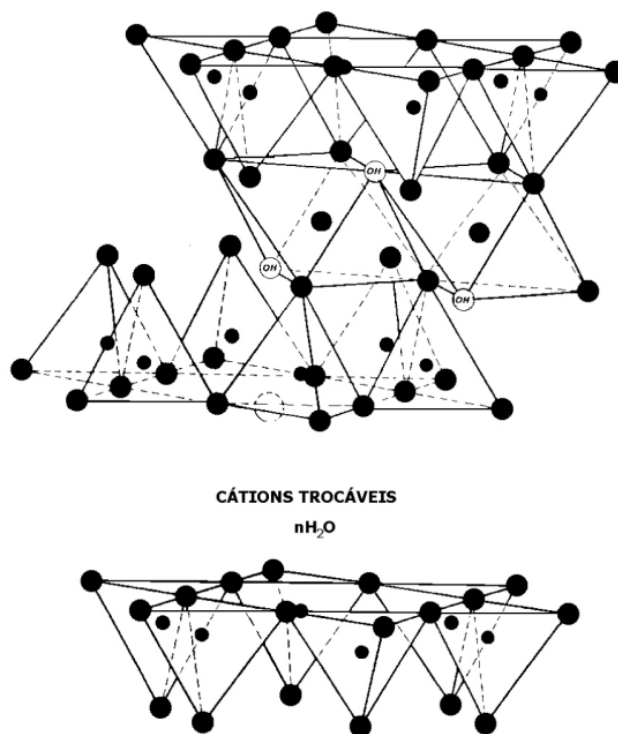


Figura 10 - Estrutura cristalina das argilas.
 Fonte: Cavacalti et al. (2010)

A argila é o produto da erosão das rochas. Essa erosão acontece devido aos movimentos de geleiras, água, vento e outros fatores como a expansão térmica da água dentro das rochas ou atividade orgânica (Gaudó, 2013). As propriedades e a composição da argila dependem das condições locais. Como apresentado anteriormente, consistem basicamente por uma mistura de argila, silte, areia e, às vezes, agregados maiores.

A classificação do solo segundo Gaudó (2013) de acordo com o diâmetro se encontra na tabela 1:

Material	Diâmetro (mm)
Argila	< 0,002
Lodo	maior que 0,002 e menor que 0,06
Areias	maior que 0,06 e menor que 2
Cascalhos e pedras	maior que 2

Tabela 1 - Diâmetro das partículas e definição
 Fonte: adaptado pelo autor de Gaudó (2013)

Uma analogia por Gaudo (2013) compara a argila como o cimento no concreto, atuando como um aglutinante, e o silte e a areia atuam como partículas de preenchimento. Dependendo das percentagens destes três componentes, classifica-se o solo como argiloso, silto-argiloso, siltoso ou arenoso. Estas percentagens podem ser vistas na Figura 11 propostas por Adilson (2015):

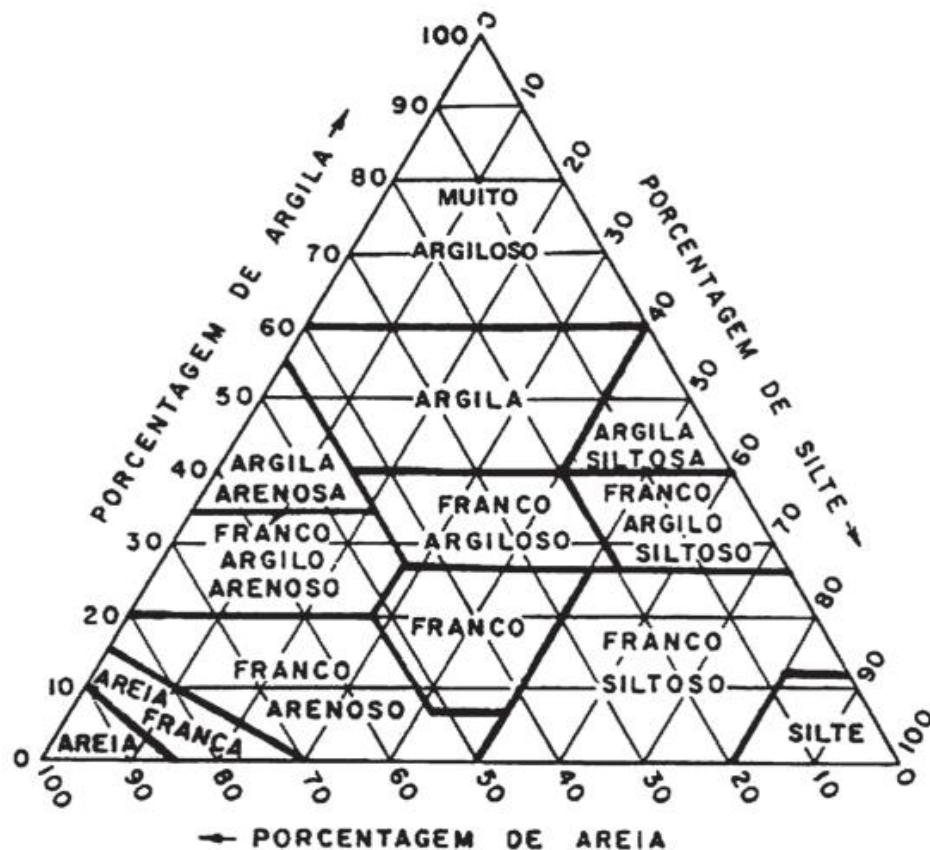


Figura 11 - Triângulo textural, utilizado para a determinação das classes texturais do solo.
Fonte: Adilson (2015)

2.4.1. Distribuição granulométrica da argila

A maneira mais fácil de caracterizar o tamanho do grão da argila é por meio dos gráficos provindos da análise granulométrica. Segundo Oti (2010), se trata um gráfico simples onde o eixo vertical representa o peso que passa por uma peneira em percentagem e o eixo horizontal mostra o diâmetro da peneira representado em escala logarítmica. A curva é representada cumulativamente, com cada tamanho de grão incluindo todos os componentes

finos. Um exemplo desse tipo de gráfico é mostrado na Figura 12:

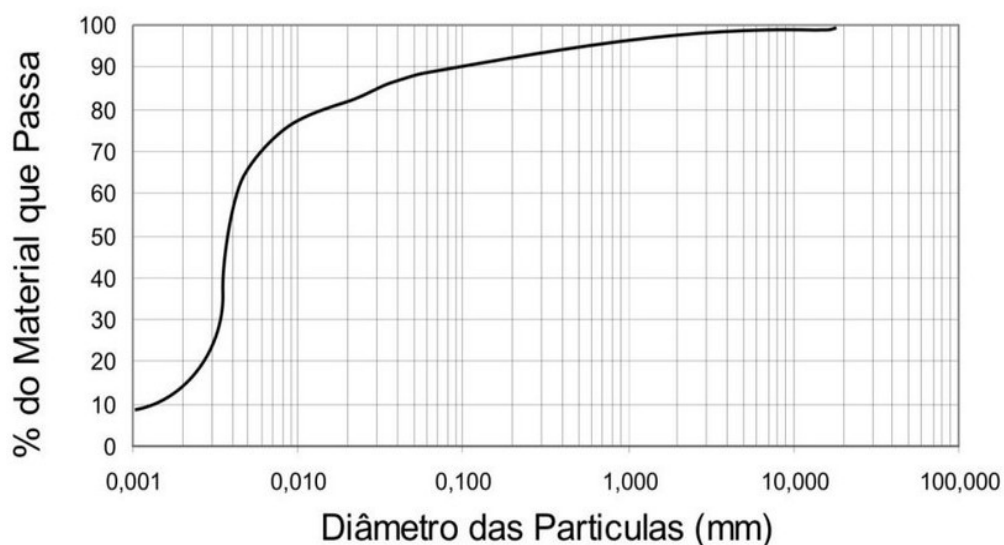


Figura 12 - Curva granulométrica genérica
Fonte : Oti (2010).

Muitos estudos foram realizados ao longo dos últimos anos acerca das propriedades ideais dos solos que compõem o processo de fabricação da taipa de pilão. Sato (2010) descreveu em sua pesquisa fatores como a composição mineral do solo, seu ensaio granulométrico, bem como os limites de liquidez e plásticos.

A autora justifica que a seleção primária e dosagem da massa é a primeira etapa, ignorando-se os primeiros 30 centímetros da camada do solo. Por meio de análise granulométrica, a autora definiu a porcentagem ideal da composição de um solo para uso em taipa de pilão como sendo 30% de argila e 70% de areia.

2.4.2. Efeito da água nas argilas

Ghayad et al. (2009) afirmam que sem água, as forças de ligação da argila são inúteis. Além da água nas argilas em seu estado natural, existem três diferentes “tipos de água” em um solo argiloso: água de cristalização, água absorvida e água de capilaridade.

A primeira encontra-se confinada no material, e só é relevante se a argila for aquecida mais do que 400 °C segundo o autor. A água absorvida e a água capilar são liberadas se a mistura for aquecida a mais de 105 °C. Segundo o Instituto Australiano de Refrigeração,

Condicionamento de Ar e Calor (AIRAH 2000) a argila seca se for umedecida, terá seu volume aumentado, porque a água irá penetrar em suas estruturas lamelares. A água é capaz de criar um filme que envolve esta estrutura, segundo o autor, envolvendo a estrutura lamelar com uma fina película de água. Quando essa água evapora, a distância é reduzida e a estrutura lamelar da argila é rearranjada em um padrão paralelo devido às forças elétricas. O autor conclui, assim, que este é o processo pelo qual a argila adquire suas forças de ligação.

Em contrapartida, quando a argila fica úmida, ela incha e muda do estado sólido para o plástico. Ao secar, o oposto acontece, se retraindo. Houari (2020) chama esse fenômeno de intumescimento, descrevendo que é extremamente desvantajoso para a construção de edifícios. O autor afirma que inchaço só acontece quando uma grande quantidade de água entra em contato com a argila, perdendo aos poucos suas características do seu estado sólido, concluindo que a absorção de umidade do ar nunca ocorrerá na velocidade necessária para o retorno da argila ao seu estado de saturação convencional. Complementa dizendo que o inchaço e o encolhimento dependem do tipo e quantidade de argila, exemplificando que o comportamento da Montmorilonita (argila mineral) em relação à perda e absorção de água é superior a outros tipos de argila como a caulinita.

3. O SOLO-CIMENTO NA FABRICAÇÃO DA TAIPA

A definição de solo-cimento é compreendida por muitos autores como uma mistura homogênea entre cimento Portland, água e solo. Espera-se deste material, segundo Uchimura (2006), aumento da resistência à compressão, baixa impermeabilidade e alta durabilidade.

A utilização do cimento para fabricação de elementos solo-cimento, segundo Grande (2003), é de que o mesmo deve ser adicionado deve ser somente o suficiente para estabilizar o solo e lhe conferir as propriedades necessárias. Mazzeo (2003) conclui que o solo-cimento resulta em um material resistente e durável, por meio da hidratação do cimento como será visto adiante. Ambos convergem quando se trata da descrição das partículas cimentantes como agentes de estabilização físico-químicas.

É interessante frisar que a relação de solo-cimento pode ser diferente, para diferentes propósitos. Segundo Buriol (2002), quantidades diferentes destes materiais compõem 3 categorias principais, sendo:

- solo-cimento plástico;

- solo modificado;
- solo-cimento.

O autor define que a estabilização do solo depende de diversas variáveis. Em um solo sem argila, por exemplo, a ação cimentante se dá por meio da hidratação do cimento. A ação cimentante depende intrinsecamente da granulometria do solo e a uniformidade da mesma, cita.

De forma geral, para obter-se um solo estabilizado de maior qualidade, é necessária uma escolha do solo que apresente características adequadas.

3.1. ESCOLHA DO CIMENTO E CARACTERÍSTICAS POZOLÂNICAS

Pereira *et al.* (2018) realizaram estudos e pesquisas acerca dos cimentos disponíveis no mercado brasileiro, e a relação dos mesmos como estabilizantes do solo. Os tipos principais de cimento estudados foram o CP III, o CP IV e o CP V – ARI. A tabela 2 a seguir descreve as principais características que diferenciam estes materiais:

CP III	Possui maior impermeabilidade e durabilidade, apresenta baixo calor de hidratação, alta resistência à expansão e a sulfatos.
CP IV	Indicado em obras sujeitas à ação de água corrente e ambientes agressivos. É mais impermeável, mais durável, apresenta alta resistência.
CP V - ARI	Adquire elevada resistência à compressão nos primeiros dias; recomendado no preparo de concreto e argamassa para produção de artefatos de cimento e em todas as aplicações que necessitem de resistência inicial elevada e desforma rápida

Tabela 2 - Tipos de cimento e suas características. Fonte: Autor, adaptado de Pereira et al. (2018)

Os autores, por meio de pesquisas aos fornecedores de cimento, concluíram que a utilização do CP IV é a mais recomendada, ou seja, o que possui maior ação pozolânica.

3.1.1. Definição de Pozolana e materiais pozolânicos

Segundo Maria (2011) as pozolanas são descritas como: “Material natural ou artificial que contém sílica na forma reativa, sendo proveniente de rochas vulcânicas, resíduos de termoelétricas e outros que apresentem atividade pozolânicas”. Segundo a norma ABNT 12653

2012, são materiais de sílica e alumínio, que a princípio não possuem atividades aglomerantes. Com a presença de água e moídos de maneira fina, as partículas reagem com hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades cimentantes.

Ainda de acordo com a norma, os materiais pozolânicos são classificados em:

- Naturais: de origem vulcânica, com teor de SiO₂ superior à 65% ou de origem sedimentar com atividade pozolânica. Devem ser britados e moídos para serem utilizados na argamassa.
- Artificiais: provenientes de tratamento térmico, sendo argilas calcinadas ou termicamente ativadas, como cinza volante, cinzas de casca de arroz, sílica ativa, etc).

3.1.2. Cinza de casca de arroz como fonte de sílica

Do ponto de vista sustentável, é interessante citar neste projeto o uso de cinzas de casca de arroz. Segundo Maria (2011), a cinza de casca de arroz é um resíduo resultante do beneficiamento do arroz.

Santos (2006) afirma que este resíduo representa um dos maiores da indústria agroindustrial. Segundo Montheiro (1994), cada tonelada de arroz produz cerca de 200 quilogramas de casca, e 40 quilogramas de cinza. Pouey (2006) cita que o arroz possui grande quantidade de sílica, em forma de sílica hidratada.

Quando ocorre a combustão, parte da massa é convertida em cinza, adquirindo-se uma estrutura celular e porosa com alta superfície específica (50 à 100 m²/g) e grande quantidade de sílica em torno de 85 a 95%.

Segundo Netto (2006), a cinza é obtida por meio de processos microbiológicos, além do processo de combustão. Uma vez que a cinza possui altas quantidades de sílica, estrutural vítrea e é altamente celular, a cinza da casca de arroz torna-se uma superpozolana, acarretando benefícios sobre as propriedades do concreto o qual pode-se citar a redução da permeabilidade.

Segundo Abiko (1987), os resíduos de casca de arroz podem ser facilmente obtidos, em quantidades moderadas, em comunidades rurais. Isto torna sua utilização interessante do ponto de vista social e econômico regional.

3.2. RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO AGENTES SUSTENTÁVEIS

Os Resíduos da Construção Civil (RCC) ou Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são descritos por Levy (1997) como a parcela mineral da construção resultantes tanto da demolição quanto da construção. A utilização de RCC no projeto de uma casa em taipa de pilão pode ser benéfica do ponto de vista sustentável, pois sua utilização no concreto da fundação é permitida, se o material for aprovado nos testes de resistência.

Segundo a resolução nº 307/2002 do CONAMA os Resíduos da Construção Civil (RCC) são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, e outros (BRASIL, 2002, p.1).

Após a entrada em vigor da resolução em questão, foi publicada a NBR 15.116 (ABNT, 2004), norma que estabelece os requisitos para emprego dos agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil.

3.2.1. Uso de espuma EVA em concreto de cimento Portland

Segundo Shoukry (2018) a espuma EVA é um copolímero, composto de etileno e acetato de vinila, que é utilizado em diversos produtos industriais. É conhecido por ser leve, resistente à umidade, isolante químico, isolante de calor e absorvente de energia. O autor afirma que durante a fabricação de produtos de EVA, como calçados, tapetes de natação, etc., grandes quantidades de resíduos de EVA são geradas.

Os resíduos de EVA possuem baixa massa específica sendo conhecidos como um agregado leve. Segundo Polari Filho et al. (2003) o uso em enchimentos de lajes, isolamento acústico e térmico e blocos e/ou painéis para vedação fazem desse material ter um grande potencial para uso em diversos componentes e sistemas na construção civil, sem função estrutural.

Alakkad (2018) afirma que esses resíduos não são recicláveis e apresentam diversos efeitos sobre a saúde quando queimados ou incinerados, como irritação severa aos olhos, pele e membrana mucosa. Por consequência, opta-se por descartar os resíduos de EVA em aterros sanitários.

Um estudo sobre utilização do EVA como agregado graúdo para produção de concreto foi estudado e desenvolvido pela empresa MAISON Indústria e Comércio de Artefatos de Cimento LTDA, com o lançamento do produto BRITALEVE®, o qual possui suas características na tabela 3, frente à outros agregados disponíveis no mercado:

Tabela 3 - Comparativo entre BRITALEVE® e outros agregados com a mesma finalidade (ROLIM, 1999).
Fonte: Souza (2011)

Agregado	Peso final	Mistura	Resistência	Armazenagem	Custo final*
BRITALEVE®	Médio	Fácil	Elevada	Exposta	Menor
Vermiculita Expandida	Médio	Difícil	Baixa	Protegida	Alto
Argila Expandida	Maior	Fácil	Elevada	Protegida	Alto
Poliestireno	Menor	Difícil	Baixa	Exposta	Médio

3.2.2. Propriedades térmicas do EVA

Um estudo envolvendo as propriedades térmicas do EVA foi produzido por Bringel *et al.* (2015), no qual foram coletadas informações sobre seu comportamento em altas temperaturas. Na Figura 13 estão representados gráficos com os testes de termogravimetria (TGA) em aparas de EVA realizado pelos autores:

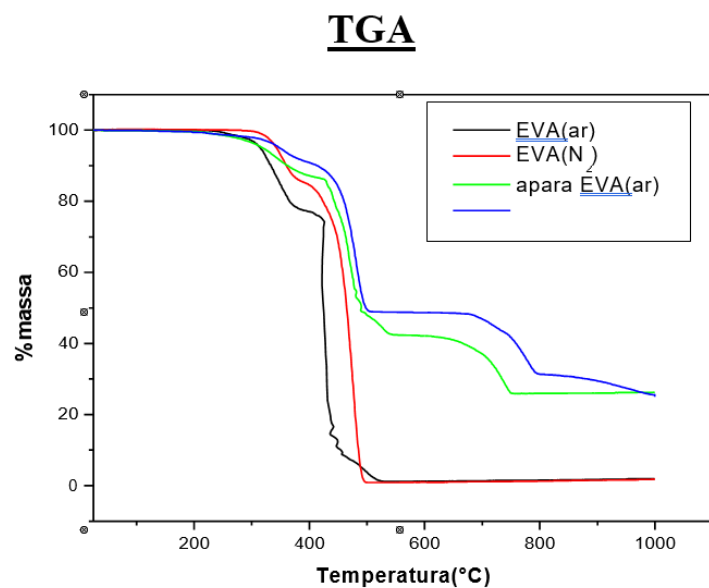


Figura 13 - Ensaio de termogravimetria do EVA
Fonte: Bringel et al. (2015)

Referente à degradação da cadeia principal do polímero, constatou-se que o mesmo apresenta uma estabilidade térmica até 300 °C, quando inicia-se a decomposição deste com a liberação do ácido acético, fato observado no EVA original e nas aparas de EVA.

3.2.3. Ensaios de viscosidade do agregado com EVA

Ensaios relativos à viscosidade do material composto por EVA e CAP (cimento asfáltico de petróleo) foram efetuados por Bringel *et al.* (2015), utilizando-se o viscosímetro Brookfield modelo DVII+, acoplado a um controlador de temperatura THERMOSEL. Na Figura 14 é possível analisar o comportamento do composto.

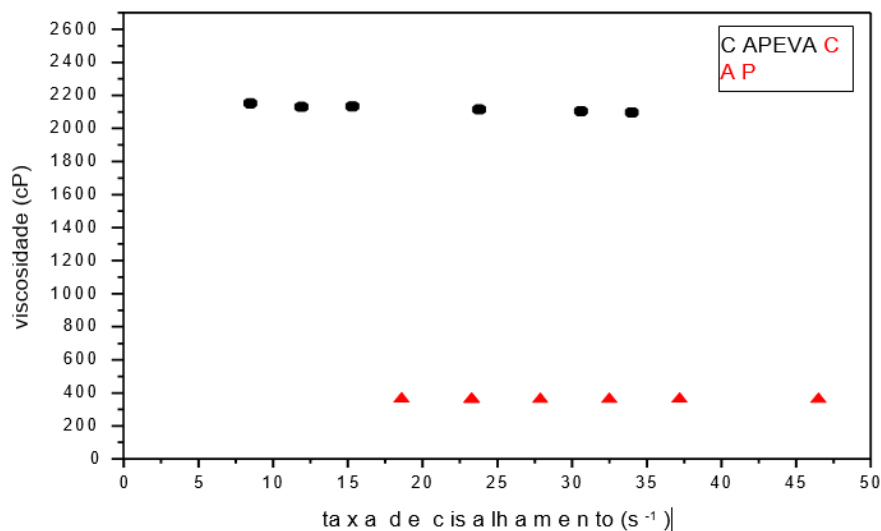


Figura 14 - Ensaio de viscosidade do CAP
Fonte: Bringel *et al.* (2015)

É possível perceber que a viscosidade do CAP aumenta com a presença do EVA. Os autores afirmam que este comportamento se deve à natureza alifática do composto (existência de sequências etilênicas de elevado peso molecular).

3.2.4. Definição do Polietileno Tereftalato (PET) e sua utilização em artefatos de concreto

Segundo Prado (2006), o Polietileno Tereftalato ou PET, é o polímero termoplástico comercialmente mais importante da família dos poliésteres. Possui estrutura semicristalina, parcialmente alifática e aromática, como mostra a Figura 15:

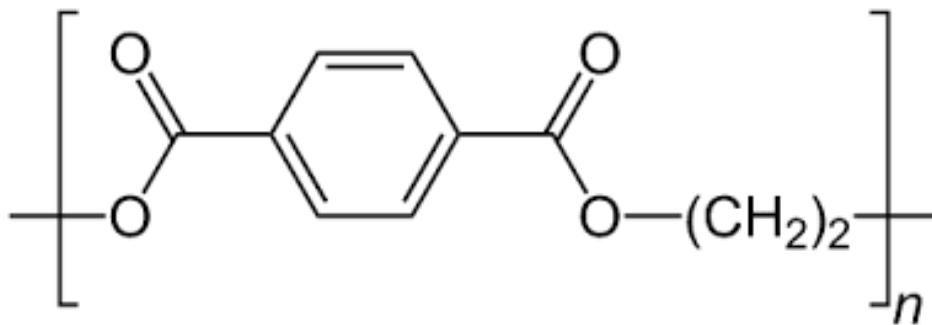


Figura 15 - Estrutura química do PET.
Fonte: Romão *et al.* (2009)

Abipet (2016) afirma que o PET é um plástico da família dos poliésteres, e do consumo total do material no Brasil, 90% são destinados para fabricação de embalagens de bebidas e alimentos, tais como água, refrigerantes, entre outros.

Apesar das múltiplas vantagens que essas embalagens apresentam, existem também uma série de desvantagens, entre as quais: grande volume de resíduos gerados após o uso e dificuldade de reintroduzi-los em uma nova cadeia produtiva, pois não são biodegradáveis (Slack *et al.* 2009). Por esta razão, a reciclagem apresenta um significado ainda maior, por envolver uma série de procedimentos, visando à redução dos impactos ambientais relacionados aos plásticos (Zanin e Zanin, 2015). O autor afirma que entre suas propriedades destacam-se baixa densidade, transparência, excelente estabilidade térmica, facilidade de processamento, alta resistência química, alta estabilidade hidrolítica (devido à presença de anéis aromáticos), propriedades mecânicas atrativas às altas temperaturas, propriedades de barreira aos gases, leveza, aparência nobre (brilho e transparência) e baixo custo de produção. Para Soncim (2004), a utilização do material para reforço de subleitos de pavimentos rodoviários se torna viável.

O autor ainda conclui que após a correção granulométrica e acréscimo de 30% em peso de areia de PET, a classificação dos solos é considerada boa para a execução de subleitos. As pesquisas de Bart *et al.* (2004) com a fabricação de painéis modulares de parede autoportante

foram consideradas satisfatórias. O uso do PET nesses elementos é feito em forma de colunas verticais do material cortadas e encaixadas, reforçadas com treliça de aço plano em seu perímetro, e revestido nas faces com argamassa. Uma das possibilidades desta estrutura é a de efetuar a fabricação da cobertura, em formatos de painéis curvos ou planos. Outros estudos foram efetuados por Coelho (2006) para uso da estrutura de concreto com agregados em PET em lajes nervuradas, utilizando as garrafas como material de enchimento. O autor conclui que há redução de mais de 40% sobre o custo de fabricação destas lajes, reduzindo o custo final da habitação.

Outra utilização encontrada por Ochi et al. (2007) para a reutilização do PET é em relação à produção de fibras deste material. O autor afirma que as fibras produzidas por este método são facilmente manipuláveis e podem ser misturadas com frações de até 3%. Há também outra vertente que relaciona o uso do PET, mas neste caso, em vedação de blocos de cimento Portland, que contém uma garrafa vedada em seu interior.

É o caso dos estudos realizado por Nunes et al. (2007), Lima (2007) e Aguir et al (2008). Tibúrcio (2018) estudou a utilização de resíduos de PET para a fabricação de blocos de concreto e argamassa. A granulometria do material utilizado no estudo dos autores foi de 13 mm, como mostra a Figura 16:



Figura 16 - Granulometria do PET de 13 mm utilizada por Tibúrcio (2018)
Fonte: Tibúrcio (2018)

3.2.5. Estabilização do solo-cimento

As possibilidades de melhorar o desempenho da argila são muitas, segundo Taveira (1987). O autor afirma que acrescentar pequenas quantidades de aglomerantes, como a cal ou cimento, conferem maior resistência mecânica. Além disso, a adição de agregados leves como palhas ou fibras, reduzem o efeito de retração da argila. O autor ainda cita que para controle da permeabilidade, podem ser adicionados asfalto natural e óleos vegetais, que ainda contribuem com a sua durabilidade (Ramos, 2006).

De acordo com Neves et al. (2005), qualquer solo com exceção dos altamente orgânicos ou com predominância de argilas expansivas (como é o caso da montmorilonita), podem ser utilizados como material de construção. Os autores, todavia, afirmam que existem limitações ao uso de determinados solos: “terras muito argilosas, por exemplo, são difíceis de serem compactadas, devido à retração elevada, que produzem superfícies mal acabadas”.

Ainda de acordo com o estudo acima, quando se analisa o conceito de sustentabilidade, é inerente a escolha prioritária de solos próximos ao local da construção, e apenas um tipo de terra. Entretanto, os autores concordam com a possibilidade de se produzirem misturas melhores quando misturados dois tipos de solos.

Neves *et al.* (2005) elencam alguns critérios para seleção do solo, como sendo:

- granulometria
- plasticidade
- retração
- compactação
- composição granulométrica

É interessante que as adições de quaisquer elementos ao solo visam a estabilização do mesmo, e esta prática não é recente. Segundo Bardou (1979), as técnicas de estabilização são milenares, como é o caso da adição de asfalto natural e palha na produção de adobes, com a finalidade de diminuir a permeabilidade e a retração.

Os estudos de Arzoumanian (1979) classificaram as seguintes denominações e características para estabilização do solo:

a) Estabilização por cimentação: consiste em adicionar ao solo uma substância capaz

de solidificar os grãos de areia e as partículas argilosas, de forma a obter um esqueleto interno que faça oposição à capacidade de absorção de água pela argila. Os estabilizantes mais conhecidos são: o cimento Portland; a cal, virgem ou hidratada; a mistura de cal e cimento; ou também uma mistura de cal com cinzas (de coque, de hulha, etc).

b) Estabilização por armação: consiste em agregar ao solo um material de coesão (grãos e fibras), que permitam assegurar, por fricção com as partículas de argila, uma maior firmeza ao material. Segundo Bardou e Arzoumanian (1979), a resistência mecânica final do material é diminuída, mas se ganha em estabilidade e durabilidade. Não há determinação específica para os materiais a serem empregados, pois depende da disponibilidade e das adaptações locais. Podem ser citadas, principalmente, as fibras vegetais.

c) Estabilização por impermeabilização: consiste em envolver as partículas de argila por uma camada impermeável, tornando-as estáveis e mais resistentes à ação da água. O material mais conhecido (desde os tempos bíblicos) para este fim é o asfalto (ou betume), utilizado em emulsão que, apesar da grande superfície específica da argila, requer uma quantidade muito pequena para obtenção de bons resultados. Um dos inconvenientes do uso deste material é a perda de plasticidade, apesar de ganho de coesão, o que requer a utilização de maior quantidade de água para amassamento e limita as técnicas construtivas a serem utilizadas. Além disso, quanto maior a quantidade e água necessários, maior a suscetibilidade a agentes agressivos. Podem ser utilizadas outras substâncias, tais como o azeite de côco, seivas de algumas plantas oleaginosas, o látex e os resíduos da prensagem do azeite de oliva.

d) Estabilização por tratamento químico: consiste em agregar ao solo diversas substâncias capazes de formar compostos estáveis com os elementos da argila. Os produtos químicos variam de acordo com a composição química da própria argila. Portanto, nesse caso, é necessária uma análise química da mesma. A cal, além de agente cimentante, funciona como estabilizante químico, atuando com os minerais amorfos ou argilosos do solo, formando os compostos pozolânicos. Outras substâncias de baixo custo também podem ser usadas, por exemplo, a soda cáustica e a urina de gado.

No estudo realizado por Houben e Guillaud (1995), foi relacionado o tipo de aglomerante com a plasticidade e a granulometria, como ilustrado na Figura 17. Nesta relação encontram-se valores da fração da terra com diâmetro menor que 0,08 mm e o índice de plasticidade, que resultam na escolha correta segundo os autores do tipo de estabilizante na mistura solo-cimento.

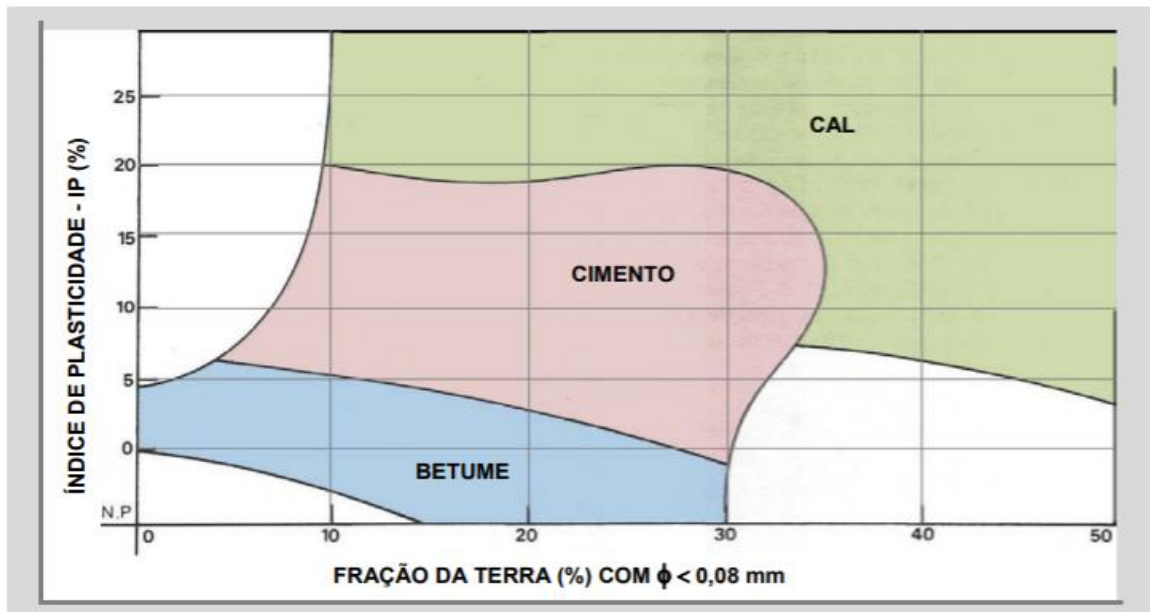


Figura 17 - Seleção do tipo de estabilizante, em função do Índice de Plasticidade (IP) e da granulometria da terra.
Fonte: Houben & Guillaud (1995)

A CRATERRE (International Centre on Earthen Architecture) (1979) relacionou os solos mais apropriados para a construção da taipa de pilão. São elas:

- areia siltosa;
- areia argilosa;
- argilas plásticas;
- siltes argilosos.

A escolha do estabilizante, como mencionado, se relaciona com as características do solo da região de escolha da terra.

4. METODOLOGIA

4.1. ESTUDO DE CASO

4.1.1. Localização do empreendimento

Será analisado o local de implantação do empreendimento, indicando o solo predominante na região e identificando a viabilidade da proposta do uso da taipa em habitações sociais. O local escolhido para a implementação do projeto foi o município de de São Joaquim da Barra, no Estado de São Paulo, no. Na Figura 18 ilustra-se a região de análise.

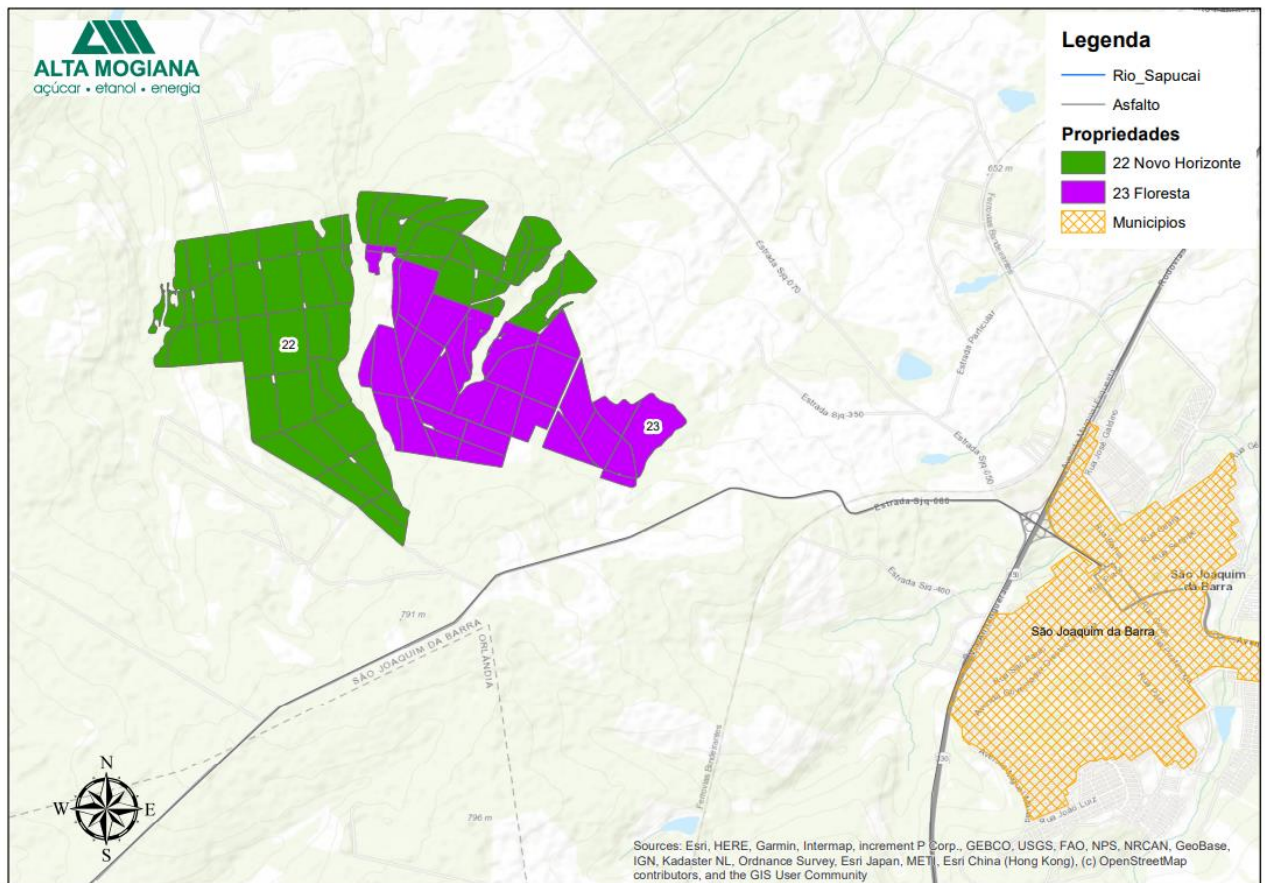


Figura 18 - Mapa da fazenda Novo Horizonte.

Fonte: autor

4.1.2. Análise da pluviometria do local de estudo

Segundo Neves et. al (2005), o estudo da pluviometria do local é de suma importância

para definir cuidados especiais na concepção da estrutura, como impermeabilizantes de maior desempenho e profundidade da fundação. Souza *et al.* 2014 concluem que independente da pluviometria, estruturas drenantes como calhas e beirais devem ser construídos para todos os casos, aumentando a vida útil da estrutura. Os dados de pluviometria do local de interesse em mm foram coletados e se encontram resumidos na tabela 4.

Média 1998 à 2007	309	189	144	64	50	7		17	20	46	108	178	271		
2.008	245	196	214	151	46	8	860		42	23	92	178	349	684	1.544
2.009	387	119	266	96	64	29	961	11	28	119	43	186	481	868	1.829
2.010	294	261	196	81	6	23	861	0	0	77	182	263	269	791	1.652
2.011	381	188	287	160	6	41	1.063		44		128	177	279	628	1.691
2.012	410	198	137	128	23	110	1.006	24		133	126	342	295	920	1.926
2.013	427	282	167	95	193	100	1.264	17	0	88	110	194	400	809	2.073
2.014	93	120	191	148	3	6	562	41		20	36	274	192	563	1.125
2.015	161	259	384	118	102	30	1.054	10		113	111	190	332	756	1.809
2.016	302	195	157	11	34	62	761	0	47	2	156	120	243	569	1.330
2.017	269	184	112	135	82	1	782		2	15	141	232	225	615	1.398
2.018	301	225	156	21	19	0	722	2	38	67	139	421	164	832	1.554
Média 2008 à 2018	297	202	206	104	52	37		10	18	60	115	234	294		
2.019	64	225	162	105	13	9	577	13	24	130	98	122	212	597	1.175
2.020	217	315	165	17	23		737		4	3	46	89	230	373	1.110
2.021	130	131	121	19	4	10	415								
Média	287	220	185	87	50	21	849	12	20	57	116	190	264	666	1.507

36

Média Geral - 1915 à 2020	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	1º Sem .	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	2º Sem.	Total
Média	267	212	183	83	42	24	810	17	17	57	126	191	272	680	1.490

Tabela 4 - Dados pluviométricos do local de estudo

Fonte: autor

Observa-se que os meses mais chuvosos foram os meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, com médias de 267 mm, 212 mm, 191 mm e 272 mm respectivamente. É importante frisar que a construção de edificações em taipa é muito suscetível às chuvas, sendo assim, é interessante a elaboração de um cronograma alinhado a estes períodos. Em posse da intensidade de precipitação do local, é possível estabelecer um paralelo referente ao nível de intensidade das chuvas, e de que maneira este fator pode influenciar no desempenho da estrutura. Uma vez que não é o escopo deste projeto a análise do solo em laboratório, a curva granulométrica do solo de formação Corumbataí foi retirada do trabalho de Frederice et al. (2010), que analisou a composição de uma amostra do solo da cidade de Rio Claro – SP. A curva granulométrica da formação Corumbataí será vista adiante.

4.1.3. Embasamento teórico do solo do local de estudo: Latossolo Vermelho Distrófico

Segundo o periódico da Mundo Ecologia (2019), os latossolos vermelhos distróficos são

solos com cores avermelhadas, devido a presença de óxidos de ferro em altas quantidades. Segundo a revista, são solos comumente encontrados em regiões do Centro Oeste, de relevo plano, onde a mecanização agrícola pode ser utilizada de forma consistente. O solo do local de implantação do projeto foi caracterizado como um latossolo vermelho distrófico, como mostrado na figura 19 a seguir :

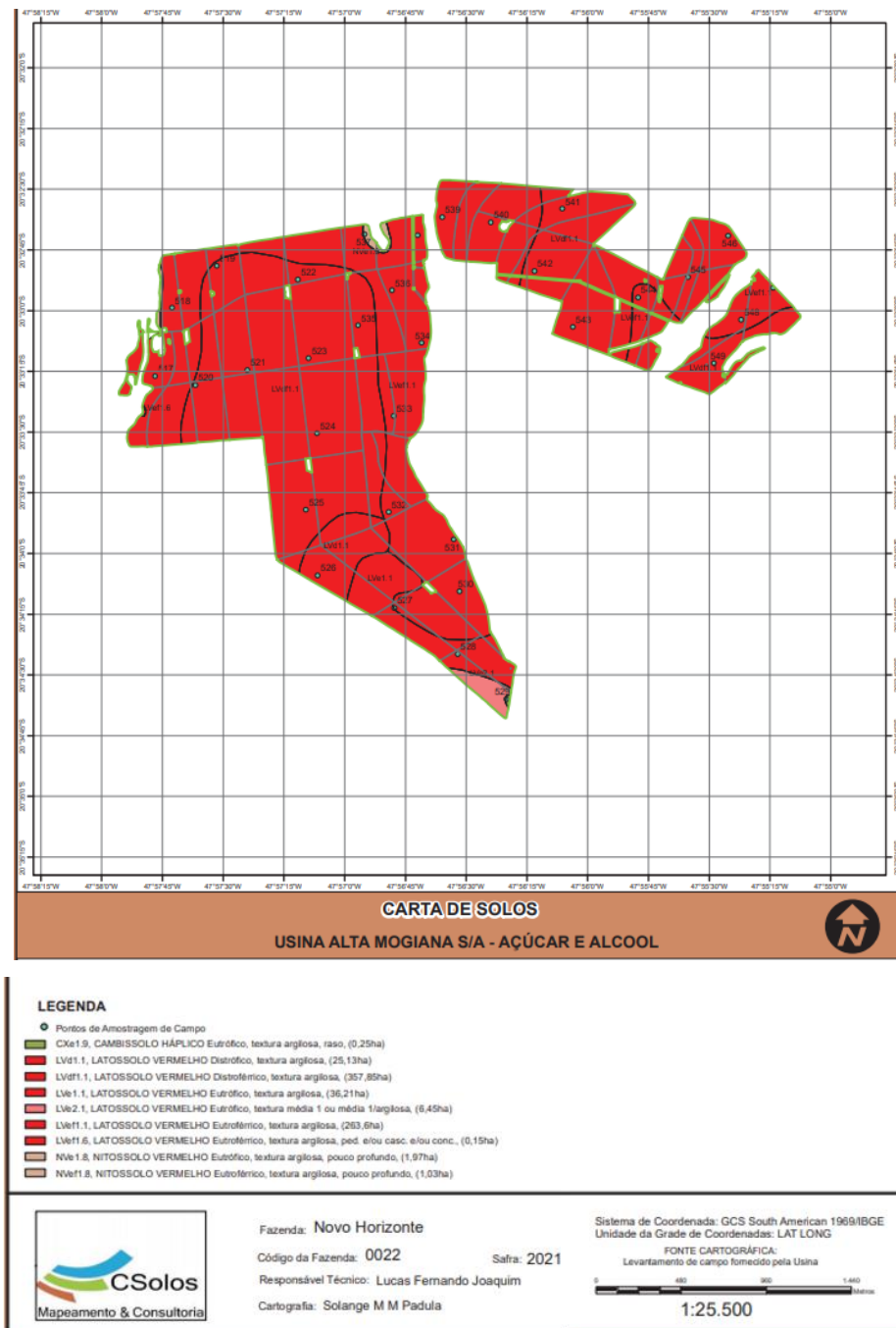


Figura 19 - Carta de solos Fazenda Novo Horizonte.
Fonte: Autor

Estudos acerca do uso deste tipo de solo, para a fabricação de tijolos estruturais de alta resistência, foram desenvolvidas por Souza *et al.* (2014). Com a adição de quantidades distintas de cimento à mistura, os autores concluíram que solos desta família são recomendados para a produção de tijolos de alta resistência, que superam as normas exigidas pela NBR 10834 (ABNT, 1994) e pela TRB –Transportation Research Board, que considera a granulometria do solo como fator determinante para a resistência.

É importante ressaltar que os tijolos estudados pelos autores atingiram resistências satisfatórias nos primeiros 7 dias, o que demonstra a agilidade com a qual residências produzidas com esta tecnologia podem ser habitadas com segurança.

A proposta de Souza *et al.* (2014) visava a substituição de parte do cimento portland por CBC (Cinza de Bagaço de Cana). Por meio de ensaios de resistência e absorção de água, os autores indicaram que as misturas de solo-cimento com 10% de CBC atingem as métricas exigidas pela norma brasileira para manufatura de blocos de vedação. Na figura 20 estão descritos os desempenhos das misturas A (100% cimento, 0% CBC) , B (90% cimento, 10% CBC) e C (80% cimento, 20% CBC).

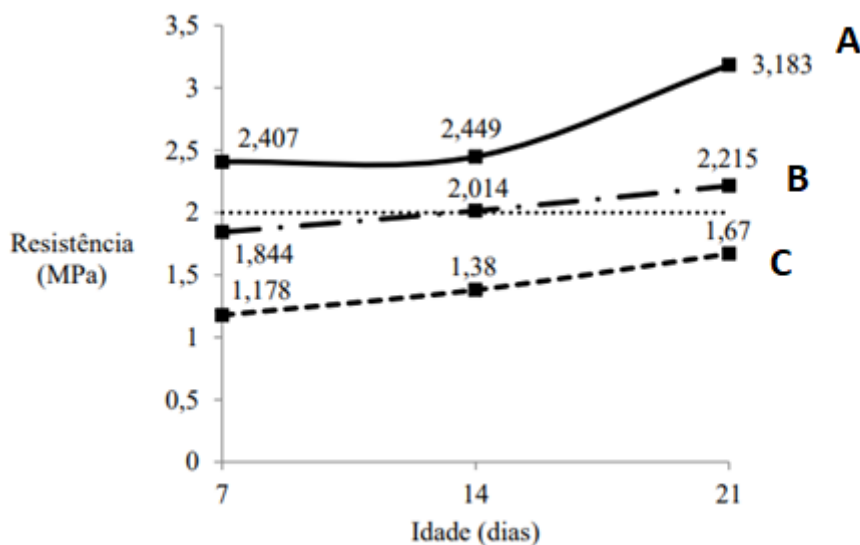


Figura 20 - Curvas de resistência para misturas solo cimento. A (100% cimento, 0% CBC) , B (90% cimento, 10% CBC) e C (80% cimento, 20% CBC)
Fonte: Souza et al. 2014

Pode ser observado que a mistura C, com 80% de cimento e 20% de CBC não atendeu o critério de resistência, entretanto a mistura B com 10% de CBC atingiu o valor de resistência mínima após 14 dias.

4.1.4. Análise da curva granulométrica e sua importância

Grande parte dos estudos indica que os solos adequados para a taipa devem apresentar baixa quantidade de silte, pouca matéria orgânica, e teor em torno de 30% de argila e 70% de areia (CRATERre, 2012). Entretanto, mesmo para solos com distribuição granulométrica semelhantes, têm-se grande variabilidade de resultados que podem ser atribuídas principalmente às características da argila e, em alguns casos, às da areia.

O CEPED (Centro Profissional de Educação a Distância), para execução de parede de painéis monolíticos de solo-cimento, especifica solos com teor de areia entre 45% a 90%, teor de silte e argila entre 10% a 55%, limite de liquidez $\leq 45\%$, índice de plasticidade $\leq 18\%$ e retração no ensaio da caixa ≤ 2 cm. Além de requerer maior quantidade de areia, o solo também deve ter sua curva granulométrica bem distribuída (Figura 21), pois assim se obtém maior massa específica na compactação, pois o mesmo solo, quando compactado com energias diferentes, apresentará valores de peso específico aparente seco máximo maiores e teor de umidades ótimas menores, para valores crescentes dessa energia.

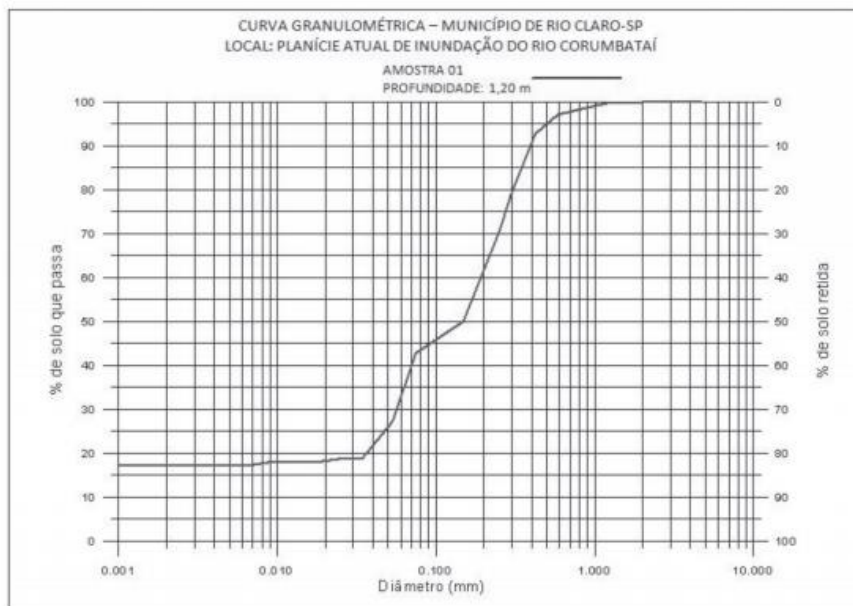


Figura 21 - Curva granulométrica de amostra de solo de formação Corumbataí.
Fonte: Frederice et al. (2010)

Através da leitura da curva granulométrica é possível extrair os valores que representam as quantidades de areia, silte e argila do solo. Estes valores estão representados na Figura 22 abaixo:

Fração	Diâmetro (mm)	Composição textural da amostra analisada (%)
Argila	< 0,002	17
Silte	0,002 a < 0,05	8
Areia muito fina	0,05 a < 0,1	21
Areia fina	0,1 a < 0,25	24
Areia média	0,25 a < 0,5	25
Areia grossa	0,5 a < 1	4
Areia muito grossa	1 a < 2	1

Figura 22 - Composição da amostra do solo.
Fonte: Frederice et al. (2010)

Através da análise da tabela, verifica-se que o solo apresenta composição final de 17% de argila, 8% de silte, e 75% de areia. No trabalho de Almeida (2015), foram determinados os índices de plasticidade de solos da formação Corumbataí. Em seu projeto, a autora estuda o uso do solo desta formação para bases de aterros, chamados *liners*, bem como a utilização para a confecção de blocos e paredes em taipa. Na tabela 5 a seguir encontram-se alguns valores de plasticidade das amostras coletadas:

Característica	AM-2	AM-3	AM-4	AM-8	AM-10	AM-14	AM-15	AM-16	Requisitos
Porcentagem de solo argiloso (#0,075mm)	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Não apto	Apto	Apto	>30
Limite de Liquidez (%)	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Não apto	Apto	Apto	>=30
Índice de Plasticidade (%)	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	>=15
Condutividade Hidráulica (m/s)	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	<10-9
Minerais	Alta Aptidão	Alta aptidão	Baixa Aptidão	Média Aptidão	Média Aptidão	Média Aptidão	Alta Aptidão	Média Aptidão	*

Tabela 5 - Aptidão das amostras de solo da formação Corumbataí para fabricação de liners.
Fonte: Almeida. (2010) adaptado de Marques (2011).

Da tabela é possível observar que das 8 amostras coletadas, apenas a amostra AM-14 não obteve desempenho mínimo nos índices de limite de liquidez e porcentagem de solo argiloso. Observa-se que para as outras amostras o solo foi considerado apto, por apresentarem índice de plasticidade, condutividade hidráulicas, limite de liquidez e porcentagem do solo

argiloso maior que 0,075 mm dentro dos limites propostos por Marques (2011)

Os dados de limites de consistência, teor de umidade, massa específica, etc., para uma amostra de solo de formação Corumbataí, segundo Cottas (1983) estão listados na tabela 6:

Teor de umidade (%)		32,4
Massa específica seca (g/cm³)		1,44*
Massa específica natural (g/cm³)		1,59
Massa específica dos sólidos (g/cm³)		2,76
Limites de consistência	LL	52
	LP	34
	IP	18
Condutividade hidráulica (cm/s)		6,5.10⁻⁷

Tabela 6 - Dados do solo de formação Corumbataí.
Fonte: Cottas (1983)

Tendo em vista as informações apresentadas, o aglomerante que deve ser utilizado na mistura solo-cimento para estabilização será o cimento Portland CP IV, em proporção de 1:10. Além disso, para garantir resistência à tração, sugere-se adição de até 2% de fibras oriundas de qualquer material, de preferência material orgânico ou reciclado. Desta forma, como visto, pode-se optar por fibras de EVA ou PET.

Para que haja comprovação da economia no emprego da taipa de pilão em uma habitação popular, é necessário que se faça um pré-orçamento de um projeto nos modelos convencionais de execução, através das tabelas SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) e TCPO (Tabela de Composições e Preços para Orçamentos). Com auxílio do programa REVIT ® da empresa Autodesk, serão extraídas tabelas com quantitativos de aço, alvenaria, acabamentos, etc, que tornarão possíveis as comparações propostas.

4.2. COMPARAÇÃO DE CUSTO: ALVENARIA TRADICIONAL E TAIPA DE PILÃO

4.2.1. Croqui do projeto

Segundo a última edição do IRC (*International Residential Code*) publicada em 2018

nos Estados Unidos, o espaço mínimo por pessoa em uma habitação popular é de 6,5 m². Para definir o espaço mínimo de construção do projeto de habitação unifamiliar, este projeto se embasou na legislação internacional de habitação, onde sua jurisdição baseia-se em sua maioria nas leis americanas. Segundo o IBGE (2008) o tamanho médio da família brasileira é de 3,03 pessoas. Considerando um arredondamento razoável de 4 indivíduos por residência, encontra-se a necessidade de 26 m² de moradia.

Estudos mais aprofundados foram elaborados por Portas (1969), relacionando os espaços mínimos para que as necessidades físicas, domésticas e psicossomáticas fossem supridas.

Estas medidas encontram-se dispostas na tabela 7 a seguir:

Compartimento	Mínimo	Desejável
Quarto casal	10,5	12
Quarto filhos-duplo	9,00	11
Cozinha	4,40	5,20
Cozinha com mesa para refeições	7,60	9,00
Cozinha com lavanderia conjugada	8,60	10,00
Sala	8,00	11,00
Sala com mesa para refeições	14,00	18,00
Área de serviço-aberta	0,5 a 1,00	
Área de serviço-fechada	2,00	
Banheiro	3,00	3,50

Tabela 7 - Espaços mínimos residenciais.
Fonte: Portas (1969)

Para que todas as necessidades domésticas sejam supridas, foram consideradas as necessidades de:

- 1 quarto de casal;
- 1 quarto filhos-duplo;
- 1 cozinha;
- 1 sala;
- 1 área de serviço aberta;
- 1 banheiro.

Efetuada-se a somas das áreas dos cômodos, encontra-se o valor mínimo total de 35,6 m². Desta forma optou-se pelo desenvolvimento de um croqui de 37 m², como ilustrado na figura 23:

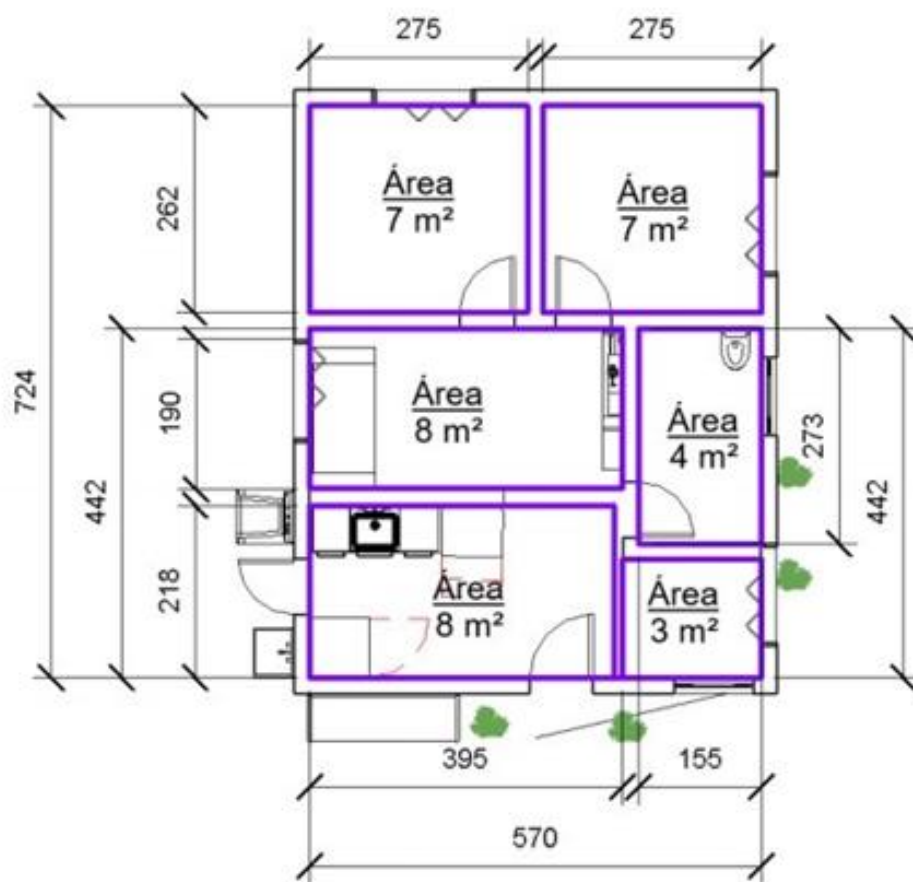


Figura 23 – Planta baixa do empreendimento com destaque do cálculo das áreas.
Fonte: autor

4.2.2. Desenvolvimento do projeto estrutural

O projeto estrutural foi determinado através do uso de baldrame como solução de fundação, com a utilização de pilares e vigas, responsáveis pela sustentação das cargas do telhado, forros, caixa d'água, etc.

Conforme Figura 24 e 25 estão determinadas as dimensões:

- Vigas baldrame e vergas: dimensões 15 x 35 cm;
- Blocos de coroamento: dimensões 60 x 60 x 60 cm;
- Pilares estruturais: dimensões 15 x 25 cm;
- Estacas: dimensões 30 x 30 x 400 cm.

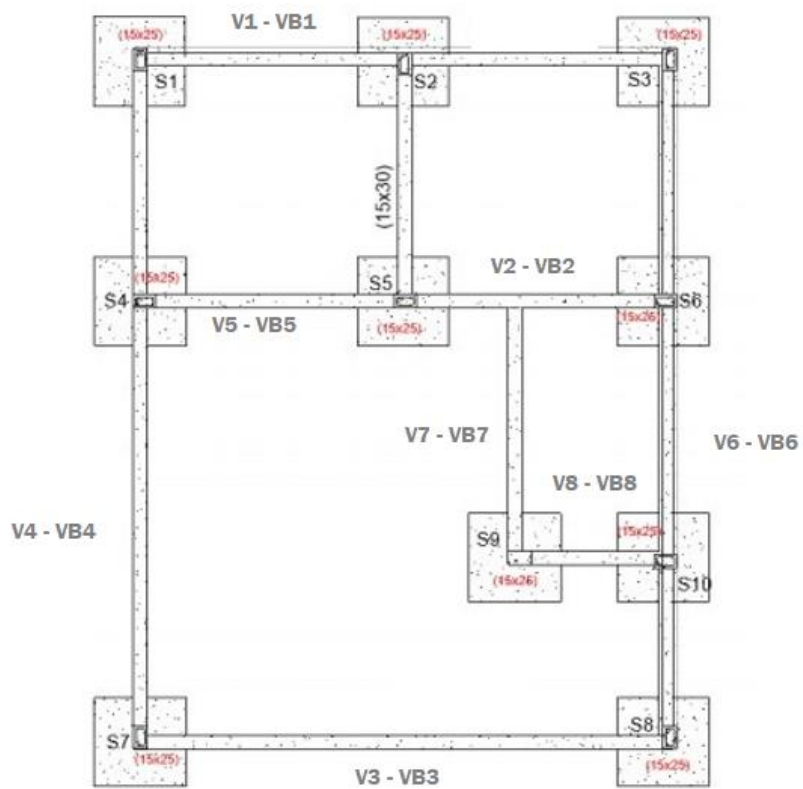


Figura 24 - Croqui das vigas, vigas baldrame, pilares e sapatas
 Fonte: autor

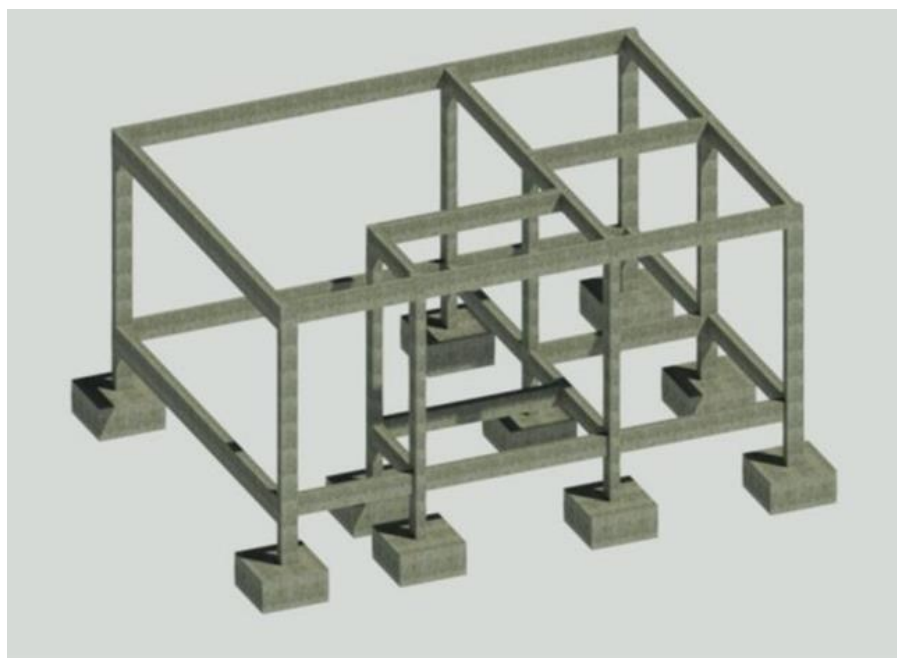


Figura 25 - Modelo tridimensional do quadro estrutural em concreto.
 Fonte: autor

4.2.3. Armação da estrutura

Para a armação das sapatas, foram utilizadas barras em cruz, formando gaiolas. O espaçamento entre as barras na fundação foi de 15 centímetros, todas com bitola de 10,0 mm. Para armação dos pilares, foram consideradas 4 barras de 8 mm, uma em cada extremidade do pilar, respeitando-se o cobrimento da norma NBR 6118 de 2,5 cm.

Para as vigas e vigas baldrames, foram consideradas 3 barras de 10 mm para resistir aos momentos fletores positivos, e 2 barras de 8 mm, chamadas de barras construtivas, nas faces superiores das vigas. Os estribos dos pilares, vigas e vigas baldrames utilizados foi de 6,3 mm, com espaçamento de 150 mm entre eles. Todo o aço utilizado no quadro estrutural foi o aço CA-50. Os detalhes das armações em aço em plataforma *BIM*, encontra-se na figura 26:

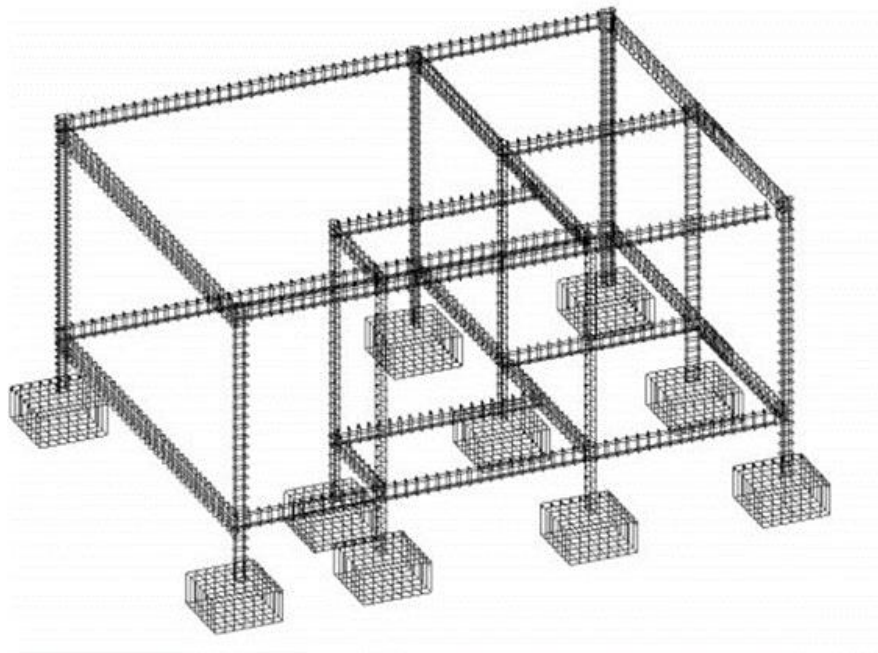


Figura 26 - Modelo tridimensional do quadro estrutural de aço
Fonte: autor

4.2.4. Cobertura

Para a cobertura da construção foram utilizadas vigotas treliçadas, como mostrado na Figura 26. O fechamento foi feito em bloco cerâmico, e as dimensões da vigota treliçada estão ilustradas nas Figura 27 e 28.



Figura 27 - Detalhe da cobertura.
Fonte: autor

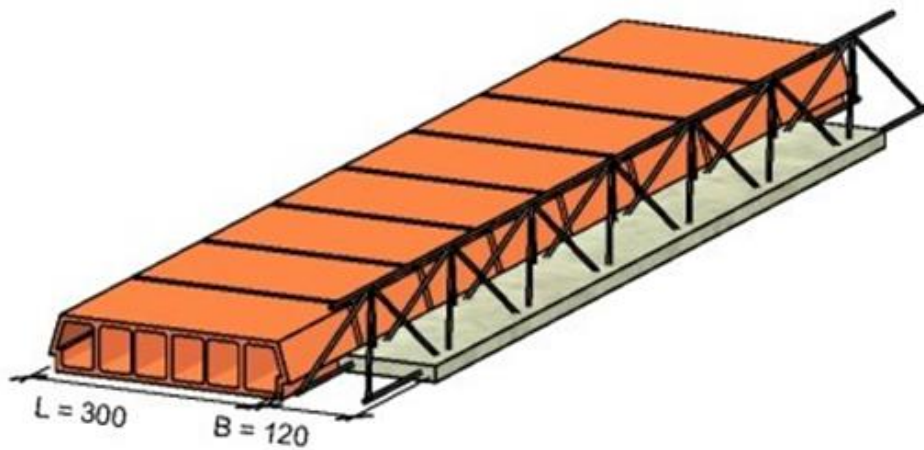


Figura 28 - Detalhe da vigota treliçadas com preenchimento em bloco cerâmico.
Fonte: autor

As figuras 29, 30 e 31 ilustram as dimensões fornecidas pelo programa Revit, listadas a seguir:

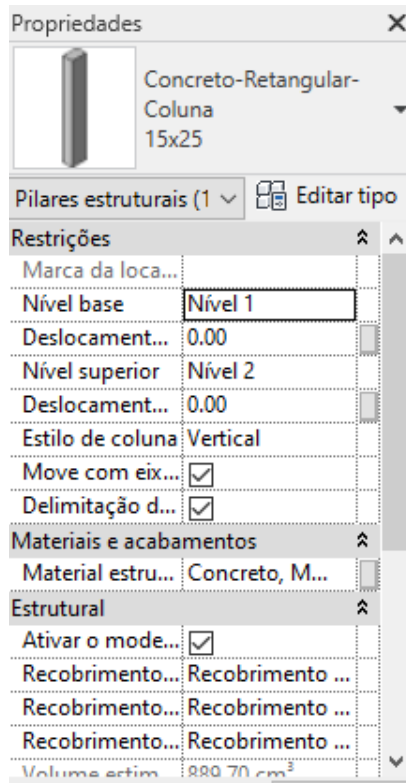


Figura 29 - Detalhe do pilar.

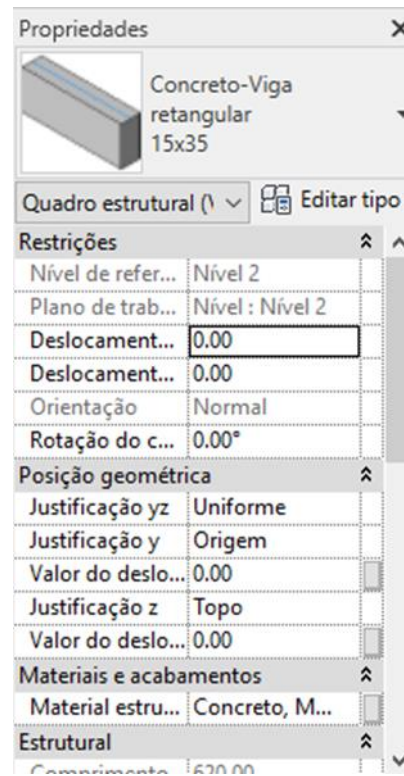


Figura 30 - Detalhe da viga.

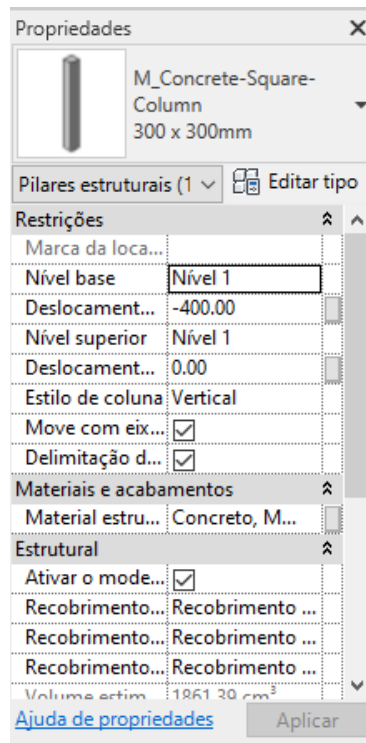


Figura 31 - Detalhe das Estacas.

Fonte: autor

4.2.5. Extração de quantitativos no *software* REVIT

A modelagem em plataforma BIM funciona de forma otimizada, uma vez que é possível a inserção de tabelas manuais para cálculo de quantitativos. Através de parâmetros controlados pelo usuário, a obtenção dos materiais que compõe a estrutura é feita por unidades de comprimento para vergalhões e volume para os as peças de concreto. Além disto, a relação de alvenaria por unidades de bloco, massa de assentamento, reboco e chapisco pode ser calculada, como nas Figuras 32 a 36. A extração dos quantitativos na plataforma REVIT possui diversas vantagens, como:

- *Criação de tabelas parametrizadas pelo usuário;*
- *Controle de custos e quantitativos e Exportação de dados através de arquivo .xls*
- *Fácil modificação caso haja alteração no projeto.*

<MATERIAIS - PILAR ESTRUTURAL>			
A	B	C	D
Nome	Modelo	Área de Forma	Volume
E1	300 x 300mm	5 m ²	0.36 m ³
E2	300 x 300mm	5 m ²	0.36 m ³
E3	300 x 300mm	5 m ²	0.36 m ³
E4	300 x 300mm	5 m ²	0.36 m ³
E5	300 x 300mm	5 m ²	0.36 m ³
E6	300 x 300mm	5 m ²	0.36 m ³
E7	300 x 300mm	5 m ²	0.36 m ³
E8	300 x 300mm	5 m ²	0.36 m ³
E9	300 x 300mm	5 m ²	0.36 m ³
E10	300 x 300mm	5 m ²	0.36 m ³
P1	15x25	2 m ²	0.11 m ³
P2	15x25	0 m ²	0.01 m ³
P3	15x25	2 m ²	0.11 m ³
P4	15x25	2 m ²	0.11 m ³
P5	15x25	2 m ²	0.11 m ³
P6	15x25	2 m ²	0.10 m ³
P7	15x25	2 m ²	0.11 m ³
P8	15x25	2 m ²	0.11 m ³
P9	15x25	2 m ²	0.11 m ³
P10	15x25	2 m ²	0.11 m ³

Figura 32 - Materiais do pilar estrutural.

Fonte: autor

<MATERIAIS DE PAREDE>									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tipo	Área	Tijolo por m²	Nr Tijolos	Custo Tijolos	Massa de Assenta	Reboco(m²)	Chapisco	Pintura	Cerâmica
Reboco/Ceramica-15c	117.70 m²	31	3704	1296.45	1.73 m³	4.71 m²	1.18 m²	0 m²	118 m²
Total geral: 16	117.70 m²		3704	1296.45	1.73 m³	4.71 m²	1.18 m²	0 m²	118 m²

Figura 33 - Materiais das paredes.
Fonte: autor

<MATERIAL - FUNDAÇÃO ESTRUTURAL>				
A	B	C	D	E
Nome	Tipo	Qty	Área de Forma	Volume Total
S1	60X60X20	1	2.16 m²	0.22 m³
S2	60X60X20	1	2.16 m²	0.22 m³
S3	60X60X20	1	2.16 m²	0.22 m³
S4	60X60X20	1	2.16 m²	0.22 m³
S5	60X60X20	1	2.16 m²	0.22 m³
S6	60X60X20	1	2.16 m²	0.22 m³
S7	60X60X20	1	2.16 m²	0.22 m³
S8	60X60X20	1	2.16 m²	0.22 m³
S9	60X60X20	1	2.16 m²	0.22 m³
S10	60X60X20	1	2.16 m²	0.22 m³

Figura 34 - Materiais dos blocos de coroamento.
Fonte: autor

<MATERIAIS - VERGALHÕES>								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Nº vergalhão	Tipo	D(Φ)	Qty	comp(m)	Comp Total	Custo	Barras (12m)	Custo Total
	6.3 CA-50	6.3 mm	47	6.069	285.280	30.00	23.8	714.00
	8 CA-50	8.0 mm	207	3.401	704.210	30.00	58.7	1760.52
10	10 CA-50	10.0 mm	72	3.950	284.400	30.00	23.7	711.00
Total geral: 115			326		1,273.885		106.2	3185.52

Figura 35 - Quantidade de vergalhões.
Fonte: autor

<MATERIAL - VIGA ESTRUTURAL>			
A	B	C	D
Marca	Tipo	Material: Área	Volume CA +10%
V1	15x35	7.92 m ²	0.44 m ³
V2	15x35	6.16 m ²	0.34 m ³
V3	15x35	7.92 m ²	0.44 m ³
V4	15x35	6.16 m ²	0.34 m ³
V5	15x35	6.16 m ²	0.34 m ³
V6	15x35	6.02 m ²	0.33 m ³
V7	15x35	2.84 m ²	0.16 m ³
V8	15x35	2.73 m ²	0.15 m ³
VB1	15x35	5.56 m ²	0.31 m ³
VB2	15x35	5.56 m ²	0.31 m ³
VB3	15x35	5.07 m ²	0.27 m ³
VB4	15x35	5.56 m ²	0.31 m ³
VB5	15x35	6.57 m ²	0.36 m ³
VB6	15x35	6.57 m ²	0.36 m ³
VB7	15x35	2.39 m ²	0.13 m ³
VB8	15x35	2.28 m ²	0.13 m ³
Total geral: 16		85.42 m ²	4.73 m ³

Figura 36- Materiais das vigas estruturais.

Fonte: autor

4.2.6. Análise dos custos através da tabela SINAPI

A análise dos custos foi feita através da tabela SINAPI (Caixa Econômica Federal) com vigência o ano de 2021, do Estado de São Paulo.

Com as relações das dimensões do terreno, altura de paredes, comprimento de vigas, pilares e fundações, e através dos quantitativos obtidos na plataforma Revit, foi possível a elaboração de um custo inicial para o projeto, como consta nas tabelas a seguir.

Os valores totais da segunda coluna são referentes à um BDI (*Budget Difference Income*) de 35%, que é o que o que chamamos de Benefícios e Despesas Indiretas. No cálculo do preço final, o BDI é um componente adicional aos custos diretos, que não serão descritos no projeto. Os custos são apresentados nas tabelas 8 a 10 a seguir:

Tabela 8 - Custo dos serviços preliminares

Fonte: autor

1	SERVIÇOS PRELIMINARES				R\$	8.997,30	R\$	12.146,36	
98524	LIMPEZA MANUAL DE VEGETAÇÃO EM TERRENO COM ENXADA. AF 05/2018	m ²	50,00	R\$	5,80	R\$	290,00	R\$	391,50
93584	EXECUÇÃO DE DEPÓSITO EM CANTEIRO DE OBRA EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA, NÃO INCLUSO MOBILIÁRIO. AF 04/2016	m ²	6,00	R\$	690,75	R\$	4.144,50	R\$	5.595,08
101504	ENTRADA DE ENERGIA ELÉTRICA, AÉREA, BIFÁSICA, COM CAIXA DE EMBUTIR, CABO DE 35 MM2 E DISJUNTOR DIN 50A (NÃO INCLUSO O POSTE DE CONCRETO). AF 07/2020 P	Und	1,00	R\$	880,00	R\$	880,00	R\$	1.188,00
98458	TAPUME COM COMPENSADO DE MADEIRA. AF 05/2018	m ²	36,00	R\$	102,30	R\$	3.682,80	R\$	4.971,78

Tabela 9 - Custo da Infra Estrutura.

Fonte: autor

2	INFRA ESTRUTURA				R\$	11.240,09	R\$	15.174,12	
90781	LOCAÇÃO CONVENCIONAL DE OBRA, UTILIZANDO GABARITO DE TÁBUAS CORRIDAS PONTALETADAS A CADA 2,00M - 2 UTILIZAÇÕES. AF 10/2018	m	50,00	R\$	12,50	R\$	625,00	R\$	843,75
96527	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA PARA VIGA BALDRAME, COM PREVISÃO DE FÔRMA. AF 06/2017	m³	15,40	R\$	10,00	R\$	154,00	R\$	207,90
96523	ESCAVAÇÃO MANUAL PARA BLOCO DE COROAMENTO OU SAPATA, COM PREVISÃO DE FÔRMA. AF 06/2017	m³	5,84	R\$	11,00	R\$	64,24	R\$	86,72
96530	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA VIGA BALDRAME, EM MADEIRA SERRADA, E=25 MM, 1 UTILIZAÇÃO. AF 06/2017	m²	39,53	R\$	109,08	R\$	4.311,93	R\$	5.821,11
96528	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA BLOCO DE COROAMENTO, EM MADEIRA SERRADA, E=25 MM, 1 UTILIZAÇÃO. AF 06/2017	m²	28,08	R\$	115,99	R\$	3.257,00	R\$	4.396,95
96546	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF 06/2017	KG	-	R\$	9,77	-	-	-	-
96543	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME E SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5 MM - MONTAGEM. AF 06/2017	KG	-	R\$	6,79	-	-	-	-
96616	LASTRO DE CONCRETO MAGRO, APLICADO EM BLOCOS DE COROAMENTO OU SAPATAS. AF 08/2017	m³	0,29	R\$	236,88	R\$	69,17	R\$	93,38
98562	IMPERMEABILIZAÇÃO DE FLOREIRA OU VIGA BALDRAME COM ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA, COM ADITIVO IMPERMEABILIZANTE, E = 2 CM. AF 06/2018	m²	46	R\$	12,46	R\$	573,16	R\$	773,77
101166	ALVENARIA DE EMBASAMENTO COM BLOCO ESTRUTURAL DE CERÂMICA, DE 14X19X29CM E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA. AF 05/2020	m³	1,96	R\$	234,73	R\$	460,07	R\$	621,10
93382	REATERRO MANUAL DE VALAS COM COMPACTAÇÃO MECANIZADA. AF 04/2016	m³	14,86	R\$	10,00	R\$	148,60	R\$	200,61
101176	ESTACA BROCA DE CONCRETO, DIÂMETRO DE 30CM, ESCAVAÇÃO MANUAL COM TRADO CONCHA, INTEIRAMENTE ARMADA. AF 05/2020	m³	4,32	R\$	147,16	R\$	635,73	R\$	858,24
96557	CONCRETAGEM DE BLOCOS DE COROAMENTO E VIGAS BALDRAMES, FCK 30 MPA, COM USO DE BOMBA DE LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF 06/2017	m³	2,48	R\$	379,51	R\$	941,18	R\$	1.270,60

Tabela 10 - Custo da Super Estrutura.

Fonte: autor

3	SUPER ESTRUTURA				R\$	17.824,70	R\$	24.063,35	
3,1	PRIMEIRO PAVIMENTO								
92413	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM MADEIRA SERRADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF 09/2020	m²	90,00	R\$	49,29	R\$	4.436,10	R\$	5.988,74
92463	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO COM GARFO DE MADEIRA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 8 UTILIZAÇÕES. AF 09/2020	m²	85,42	R\$	45,89	R\$	3.919,92	R\$	5.291,90
92775	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO TÉRREA OU SOBRADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF 12/2015	kg	-	R\$	10,38	-	-	-	-
92777	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO TÉRREA OU SOBRADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF 12/2015	kg	-	R\$	11,34	-	-	-	-
92778	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO TÉRREA OU SOBRADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF 12/2015	kg	-	R\$	10,65	-	-	-	-
92723	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=20 MPA, PARA LAJES PREMOLDADAS COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM ÁREA MÉDIA DE LAJES MENOR OU IGUAL A 20 M² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF 12/2015	m³	2,00	R\$	356,90	R\$	713,80	R\$	963,63
101963	LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA, PARA PISO, ENCHIMENTO EM CERÂMICA, VIGOTA CONVENCIONAL, ALTURA TOTAL DA LAJE (ENCHIMENTO+CAPA) = (8+4). AF 11/2020	m²	100,40	R\$	87,20	R\$	8.754,88	R\$	11.819,09

O custo total encontrado foi de R\$51.383,83 para o projeto em alvenaria tradicional. Observou-se que o maior custo foi devido à super estrutura, pela grande quantidade de formas dos pilares e vigas.

4.2.7. Estimativa dos custos da taipa de pilão

Natal (2019) realizou um estudo de viabilidade econômica do uso da taipa de pilão, frente ao uso da alvenaria convencional. A autora observou que há economia principalmente no material a ser utilizado, uma vez que é necessária apenas a aquisição de areia e cimento,

dispensando blocos e brita.

Em projeto executado na cidade de Toledo – PR, a autora concluiu que houve economia de até 70% do valor total da obra, diferença dada principalmente em relação aos materiais usados em ambos os casos.

Girão (2009) realizou o estudo de um projeto em adobe, em uma residência unifamiliar, que difere pouco se comparada à taipa de pilão. Comparando um projeto de alvenaria estrutural, o autor concluiu que há economia significativa no uso da terra como material de construção, e salientou os seguintes pontos de economia:

- Fundações: houve economia nas fundações, pois a cinta de impermeabilização não foi necessária na construção em Adobe, visto que já existiam duas fiadas de tijolo cerâmico servindo de proteção contra a umidade.
- Paredes e Painéis: menor custo do solo-cimento frente ao uso de blocos estruturais cerâmicos, uma vez que os materiais foram extraídos do próprio local. Além disso, o custo da mão de obra foi reduzido, pois o adobe é uma técnica mais simples e rápida.
- Cobertura: menor custo do adobe, pelo fato do custo unitário utilizado ser do tipo “mutirão”. Além disso, no projeto foram utilizadas madeiras locais, como o Ypê.
- Instalações: menor custo de rasgo nas paredes e chumbamentos, pelo fato do Adobe ser “quebrável” e “moldável”.
- Revestimento: o autor conclui que a diferença de custos para o revestimento é a maior de todas, devido unicamente da ausência do cimento para a execução do reboco das paredes e do teto.
- Pavimentação: ausência do concreto para o contrapiso, o que diminui consideravelmente o valor para o item.

O autor conclui que é possível a diminuição ainda maior dos custos de uma casa feita em terra. Segundo pesquisas com habitantes locais da região do interior do Ceará, Girão (2009) detalha que o custo médio para produção de uma casa de adobe é de cerca de R\$ 4.000,00

5. CONCLUSÃO

Sugere-se para trabalhos futuros o estudo de outras técnicas, métodos e materiais alternativos ao modelo tradicional de construção, para que surjam novas propostas de habitação sustentáveis. Apesar da grande quantidade de estudos publicados nos últimos 60 anos, o conhecimento e compreensão atuais das propriedades do material de taipa e dos procedimentos de projeto ainda são muito menores do que outros materiais de engenharia civil, como aço, concreto e madeira. A falta de experiência profissional em projetos e construções em terra são os fatores que mais impactam no desenvolvimento de estudos na área, uma vez que sua aceitação ainda não é plena, mesmo em países subdesenvolvidos e com grande déficit habitacional, como é o caso do Brasil. Sugere-se para trabalhos futuros um estudo quantitativo com maior nível de detalhes, afim de se aproximarem as estimativas de diferenças de custos.

Devido à escassez de recursos naturais, ao aumento da demanda por matérias-primas e aos problemas causados pelo despejo impróprio de resíduos de construção e demolição, a pesquisa sobre novas aplicações para agregados reciclados, como citados neste projeto, tornou-se um importante campo de estudo na engenharia civil. O uso de RCC em construções em taipa de pilão contribui fortemente para os objetivos de sustentabilidade discutidos neste projeto, auxiliando na conservação de recursos por meio da reciclagem e redução do consumo de matéria-prima.

Ao melhorar a sustentabilidade, o custo e o impacto negativo do consumo atual na sociedade futura são significativamente reduzidos.

Foi observado que há economia significativa em projetos de taipa, o que torna a técnica bastante atraente em locais com alto índice de pobreza. Deve-se ressaltar, entretanto, que o solo deve ser estabilizado, e estudos granulométricos e de resistência devem ser efetuados para garantir a segurança da construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arayici, Y., Khosrowshahi, F., Ponting, A. M., & Mihindu, S. (2009). **“Towards implementation of building information modelling in the construction industry”**.

Azhar, S., Hein, M., and Sketo, B. (2008). **“Building Information Modeling (BIM): Benefits, Risks and Challenges”**, Auburn, Alabama, Abril de 2008.

Bui, Q. B., Morel, J. C., Venkatarama Reddy, B. V., & Ghayad, W. (2009). **Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering**. Building and Environment, 44(5), 912-919.

BELTRAME, E. de S. **Meio Ambiente na Construção Civil**. 2013. Disponível em: . Acesso em 02 out. 2021.

BERGAYA, F. & LAGALY, G.. (2006). **Chapter 1 General Introduction: Clays, Clay Minerals, and Clay Science**. Developments in Clay Science. 1. 10.1016/S1572-4352(05)01001-9.

BRANCO FILHO, G. A Organização o Planejamento e o Controle da Manutenção. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna LTDA., 2008.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Minha Casa Minha Vida – Habitação Urbana. O que é Minha Casa Minha Vida. 2015. Acesso em: 02 ago. 2021. Disponível em:< <https://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-ida/urbana/Paginas/default.aspx>>.

CODY, J. W. 1990. **Earthen Walls from France and England for North American Farmers, 1806-1870**. 6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture, Las Cruces, New Mexico 35 - 44.

COLAÇO, M. F. **Múltiplas Chibatas? Institucionalização da Política de Controle da Gestão Pública Federal 1988-2008**. Distrito Federal (DF). Coordenação-Geral de Gestão de Pessoas (COGEP).

D'AVILA, Flávia Blaia. **Conceitos e técnicas para assentamentos humanos na perspectiva da sustentabilidade**. 2008. 223 p. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo)- FAU PUCCampinas, Campinas, 2008.

EASTON, D. **Real Goods independent living book**. White River Junction. Chelsea Green Pub. Co., 1996.

EGENTI, N. K. **The role of Guidance and Counselling in effective teaching and learning in schools**. University of Nigeria, 2016.

ELKINGTON, J. **Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development**. California Management Review, v.36, n.2, p.90-100, 2012.

FISCHER, M., Kunz, J. (November 12, 2006). "**The Scope and Role of Information Technology in Construction**". Acesso em: 02 ago. 2021. Disponível em: <<http://cife.stanford.edu/online.publications/TR156.pdf>>

GAUDO, A. L. **Rammed earth as a construction building material**. Civil Engineering Degree – Escola de Camins, 2013.

GIRÃO, Pedro Ítalo Sampaio. **Análise comparativa de viabilidade entre sistemas tradicionais de construção e sistemas em adobe para habitações de baixo custo**. 66f. Monografia (Graduação em Engenharia civil), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

HALL, M., & DJERBIB, Y. (2004). **Moisture ingress in rammed earth: Part 1- the effect of soil particle-size distribution on the rate of capillary suction**. Construction and Building Materials, 18(4), 269-280

GRIM, R. E., Clay Mineralogy (1953).

H. HOUBEN AND H. GUILLAUD, "**Earth Construction: a Comprehensive Guide**". Intermediate Technology Publications, 1994. Geomaterials, Vol.1 No.3,.

HEATHCOTE, K. A. (1995). **Durability of earthwall buildings**. Construction and building materials, 9(3), 185-189.

HOWELL, I., BATCHELER, B. (2005). "**Building Information Modelling Two Years Later–Huge Potential, Some Success and Several Limitations Retrieved**." Acesso em 02 out. 2021. Disponível em: <http://www.laiserin.com/features/bim/newforma_bim.pdf>

KRÜGER, E., SANTOS, L. **Avaliação de Sistemas Construtivos para a Habitação Social no Brasil, 08 p**. Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 2003, Florianópolis, SC.

LIMA, P. S. **O uso da taipa de pilão na arquitetura contemporânea como bioconstrução**. Universidade Paulista. Santana de Parnaíba, 2018.

LIU, JING & HOFFMANN, H.. (2004). **Hydrogels in aqueous phases of polyvinylalcohol (PVA), surfactants and clay minerals**. Colloid and Polymer Science. 283. 24-32. 10.1007/s00396-004-1081-8.

LOPES, Wilza Gomes Reis; INO, Akemi. **Aspectos construtivos da Taipa de Mão**. In: C. M. Neves, P. C. Salas, R. F. Mellace (Eds). Técnicas mixtas de construcción con tierra. PROTERRA/CYTED: Salvador, Bahia, 2003. Disponível em: . Acesso em jan. de 2015. p.

MANIATIDIS, V ; WALKER, P. / **A Review of Rammed Earth Construction**. Paper presented at DTI Project Report, Bath, .

MAZZEO GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solocimento por prensagem manual com e sem a adição de sílica ativa**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura. EESC – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2003.

MILANI, R. S. **Ecologia política, movimentos ambientalistas e Contestação transnacional na américa latina**. Caderno CRH, Salvador, v.21, n. 54. Agosto 2008.

MINKE, G. **Manual de construccion em tierra**. Editora Fin del Siglo, 2011.
NBIMS, National BIM Standard - United States Acesso em 02 out. 2021. Disponível em: <https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US_FactSheet_2015.pdf>

MATTARAIA, Regina A.; INO, Akemi. **Argamassa de revestimento para construções em terra crua**. Brasil - Foz de Iguaçu, PR. 2002. p. 1269-1278. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Artigo Técnico.

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; SALAS, Patricio; HOFFMANN, Márcio Vieira. 2005. **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. Rede Ibero-americana PROTERRA. Disponível em: . Acesso em jan. de 2015.

NBIMS, National BIM Standard - United States, Acesso em: 15/04/2021. Disponível em: <https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US_FactSheet_2015.pdf>

PEREIRA, C. N. B. et al. **Ultramorphology of pre-treated adhesive interfaces between self-adhesive resin cement and tooth structures**. Revista de Odontologia da UNESP, v. 46, n. 5, p. 249-254, 2017.

PISANI, M. A. 2004. **Taipas: A Arquitetura de Terra**. Sinergia 5(1).

PORTAL VITRUVIUS. Pavilhão da arquitetura em terra. Com os pés no chão. Projetos, São Paulo, ano 13, n. 155.04, Vitruvius, nov. 2013. Disponível em: . Acesso em 02 out. 2021.

PORTELA, T.G. **Selection of high strength natural fibers**. *Revista Matéria*, Vol. 15, No. 4, 2011, p. 488-505.

RAMOS, C.R.; SALATHÉ, J.E.; MARTINHO, F.G. Processo de modificação de cimento asfáltico de petróleo com polímeros. PI 9300610-1 Brasil de 17 fev. 2006.

RODRIGUES, Paulina. **Problemática dos Revestimentos de Paredes em Construções de Terra Crua**. Jornada sobre Construções com Terra Aditivada – A Terra como Material de Construção de Edifícios. Lisboa: IST, 1999.

RYAN, T., SALI, A., DINA, S. **Guidelines for structural modelling of small-angle scattering data from biomolecules in solution: an update**. *Structural Biology*.

SILVA, T.F.; COELHO, K.M.; MELHADO, S.. **“Projetos industriais – barreiras para a implementação da Modelagem da Informação da Construção”**. ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., 2015, Recife. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2015.

TAVEIRA, E.S.N. O solo-cimento no campo e na cidade: construir, morar, habitar. 2.ed. São Paulo: Ícone Editora, 1987. 183 p. (Coleção Brasil Agrícola).

THOMPSON, D.B., and MINER, R.G. (November 23, 2007). **“Building Information Modeling - BIM: Contractual Risks are Changing with Technology”**. Acesso em 02 out. 2021. Disponível em: <<http://www.aepronet.org/ge/no35.html>>

TOLL, D.G. & ONG, B.H. (2004). **Critical state parameters for an unsaturated residual sandy soil - Discussion**. *Géotechnique* 54(1): 69 - 71.

UCHIMURA, M.S., **Dossiê Técnico - Solo-cimento**. Instituto de Tecnologia do Paraná, 2006. 21

VASCONCELLOS, Sylvio de. **Arquitetura no Brasil: Sistemas Construtivos**. Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1979

VERALDO, Ana Carolina, **Análise do processo construtivo de taipa mecanizada: Estudo de caso da sede do canteiro experimental da UFMS – 2015**. Disponível em: <<http://repositorio.cbc.ufms.br:8080/jspui/handle/123456789/2606>>. Acesso em 02 out. 2021.

YASIN, J. **Master of Science in Environmental Science**. Gis application and environmental factors. Arábia Saudita, 2015.

WINESS, Giorgio, 2000., "**Struttura e Spazio nell'Architettura Mesopotamica Arcaica, da Eridu alle soglie del Protodinastico**", Università di Torino, ed. Giappichelli, Torino, Italia, p. 187